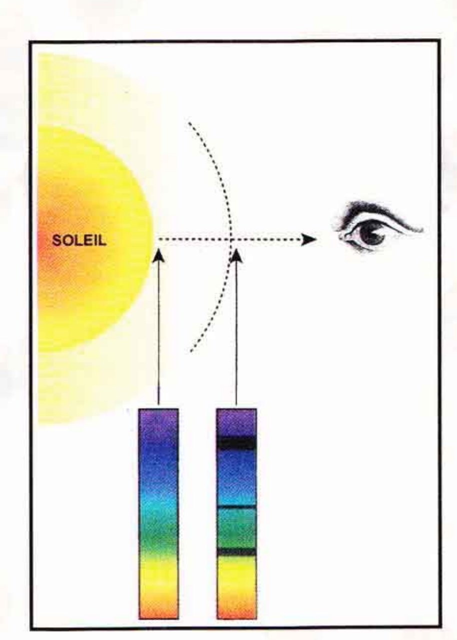




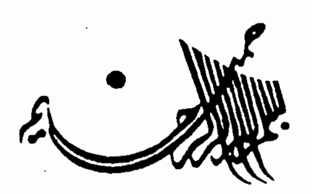
تأليف : كلود أليغر
ترجمة : أحمد بلال





$E = mc^2 \quad F = ma$

طلاس
Fayard



رقـم: 78232 ـ تاريخ: 04/9/8

الطـبعـــة الأولـــى : 2005

رقـــم الإصـــــدار: 919



دمشق : منطقة المزة (3) - حي الجلاء (5) شارع كعب بـن مـالك
(طلعة الإسكان سابقـــاً) بنـاء رقـم (2) ـ ص.ب : 16035
هاتف: 6618013 - 6618961 تلفاكس: 6618820 ـ برقياً: طلاسدار
E-mail:info@dartlass.com Website:www.dartlass.com

مكتبـة دار طـلاس ـ بـرج دمشـق ـ مقابـل وزارة الداخلية ـ هاتف: 2319558

ريـع الـدار لهيئة مدارس
أبناء و بنات الشهداء في الجمهورية العربية السورية

قليل من العلم للجميع

تأليف: كلود أليغر

ترجمة: أحمد بلال

النسخة الفرنسية: الناشر فايارد 2003 — باريس ـ فرنسا

النسخة العربية: الناشر دار طلاس — دمشق ـ سورية 2005

عنوان الكتاب باللغة الأصلية

Un peu de science pour tout le monde

Claude Allègre

Ouvrage Publié avec le soutien du centre national du livre – ministre français chargé de la culture.

تمت طباعة هذا العمل بدعم من المركز الوطني للكتاب ـ وزارة الثقافة الفرنسية.

للمؤلّف أيضاً

- Galilée, Plon, 2002.
- Changer de politique, changer la politique, Édititions de l'Aube, 2002.
- Histoires de Terre, Fayard, 2001.
- Les Audaces de la vérité (entretiens avec Laurent Joffrin), Robert Laffont, 2001.
- Vive l'école libre!, Fayard, 2000.
- Toute vérité est bonne á dire, Robert Laffont 2000.
- Dieu face á la science, Fayard, 1997.
- Questions de France, Fayard, 1996.
- La Défaite de Platon, Fayard, 1995.
- L'Âge des saviors, Fallimard, 1993.
- Écologie des villes, écologie des champs, Fayard 1993.
- Introduction á une Histoire naturelle, Fayard 1992.
- De la Pierre á l'étoile, Fayard, 1992.
- Économiser la planète, Fayard 1990.
- Douze clés pour la géologie (entretiens avec Émile Noël), Belin, 1987.
- Les Fureurs de la Terre, Odile Jacob, 1987.
- L'Écume de la Terre, Fayard, 1983.
- Introduction á la géochimie (en coll. Avec G. Michard), PUF, 1973.



للمترجم أيضاً

- **الهيدروجيولوجيا التطبيقية** ـ مركز الدراسات العسكرية ـ طبعة أولى 1981، دار الفكر ـ طبعة ثانية 1984 ـ دار طلاس ـ طبعة ثالثة 2001.
- **الجيولوجيا البنيوية** ـ جامعة دمشق. طبعة أولى 1981، طبعة ثانية 1988.
- **مبادئ ميكانيك الصخور والميكروتكتونيك** ـ جامعة دمشق 1985.
- **دليل الجيولوجيا في التخطيط الاستراتيجي العسكري** ـ دار البعث 1990.
- **التكتونيك ـ تشوهات مواد القشرة الأرضية** ـ دار طلاس ـ طبعة أولى 1991، طبعة ثانية 1997.
- **معجم المصطلحات الجيولوجية باللغات الفرنسية والإنكليزية والعربية** ـ دار طلاس 1995.
- **الصخور الاستحالية ومدلولها الجيوديناميكي (ترجمة)** ـ دار طلاس 1997.
- **نظـرات في الصخـور الناريـة** - دار طلاس 2001.
- **البحث العلمي في استراتيجيات التنمية العربية ـ الضرورات والآليات** ـ دار المنارة ـ بيروت ودمشق ـ 2002.
- **قضايا في التكوين المعرفي** ـ سورية نموذجاً ـ دار الفكر ـ دمشق ـ 2004.

مقدمة المؤلّف

كتبتُ هذا الكتاب بدافع من الواجب، ولكن ليس كذاك الذي يكتب في المدرسة، ولكن كواجب مواطن من جمهورية العلوم الكبرى. فبينما لم تزدهر العلوم أبداً كما ازدهرت الآن، حيث صاغت حياتنا ونظمتها عبر التكنولوجيا، وأنعشت الاقتصاد إلى أقصى حد، وسمحت لنا بفهم العالَم الذي نعيش فيه وحتى تعديله، فإنها لاتزال مجهولة أكثر فأكثر بل قلْ مهملة ومتروكة أو بكل بساطة مدانة من قِبل الجمهور العريض.

وهكذا ففي عالَم تحكمه العقلانية، تسعى اللاعقلانية (الخرافة) لأخذ السلطة فيه كما يبدو من ازدهار ونمو المنجمين والمبصّرين ومختلف الطوائف والشيع الدينية. السبب الأساسي في هذا الانحراف هو أنه باسم التخصص الضروري انعزل العلميون وتركوا العلوم تتجرد شيئاً فشيئاً من الثقافة العامة. غير أنه لا يوجد مستقبل لكل إنسان عارف مهما كان، بمعزل عن الثقافة، ولن يعرف الثقافة في عالَم اليوم من يبتعد عن العلم.

يطمح هذا الكتاب إذاً إلى أن يضع في متناول الجميع منجزات العلم بما فيها تلك الصعبة. وهذا الكتاب ليس عملاً تقنياً ولا أداة تعليم ولكنه كتاب ثقافة عامة يطمع لأن يكون سهل الوصول لإنسان القرن الحادي والعشرين، المفكر الموضوعي.

إذا كنت قد تعاملت مع كثير من الفيزياء وأقل من ذلك مع الكيمياء، البيولوجيا، والفلك وعلوم الأرض فالسبب أنَّ الفيزياء تغذي المنهج العلمي. وإذا كانت الرياضيات هي لسان العلم المفضل فإن الفيزياء هي مادته الأساسية.

ولكي أوضح أهم الاكتشافات الأساسية ومسار الفكر العلمي فإنني تحاشيت استدعاء لغة الرياضيات كي لا أثبط أولئك الذين يتحسسون مثل هذه اللغة أو يخشونها. وعلى العكس فضلت الملامح التاريخية والإنسانية التي عاصرت وعايشت مغامرات العلم دون التضحية بالفكر والدقة وظرفياً بالصعوبات، والريبة (الشك)، والأخطاء وكذلك السلوكيات، لأن العلم ليس معرفة بلا تجسيد، إنه نتاج مغامرات إنسانية كبيرة بتسارعاتها وهزاتها وأزمانها المضيئة والمظلمة.

طموحي الأقصى في هذه القضية أن أتوصل لأن أجعل الجميع يحب العلم بما في ذلك الذين لا يمارسونه. بل إنني لأتجرأ على الرجاء بأن أتقاسم مع بعض العلميين، لذة الفكر الخارقة التي نعيشها، لكي نجعلهم يمارسونه، وإنَّ نجاحاً جزئياً في هذا الاتجاه سيكون بالنسبة لي جزاءً عظيماً.

أشكر ڤنشن كورتييو، الذي أعاد القراءة وأجرى تصحيحات واقترح تعديلات بشفافية وروح نقدية وعناية رائعة، إدوارد بريزين، نيكول لودوارين وجون لوي لومويل، الذين شرفوني بقراءة بعض الفصول وقدموا لي اقتراحات مفيدة في ميادين خارجة قليلاً عن مجالي، وأيضاً ناتالي غوسري التي بطباعتها للنص أشارت لي إلى بعض مواضع الغموض، وجويل ديون الذي نفّذ الأشكال ببراعته المعروفة.

المـــؤلِّــف

تقـديـم المترجِـم

عندما وقعت عيني على عنوان هذا المؤلَّف، في مكتبة جيبير في حي سان ميشيل في باريس، أثناء إحدى زياراتي لفرنسا، وكان المؤلَّف قد صدر للتو، شدني إليه، ولكنني قرأت العنوان بشكل آخر: لكل نصيبه من العلم، أي أن كل العلوم تساهم في تقدم وتطور العلم والمعرفة، وكل أمة أو بلد له مساهماته، فأردت أن أعرف أين نحن منها؟! وما أن التقيت الأستاذ الدكتور جاك توريه، أستاذي الذي أشرف على تخصصي لنيل دكتوراه دولة في جامعات باريس، حتى أشار عليَّ بترجمة الكتاب فسعدت جداً من أجل الجميع هم ونحن. مؤلِّف الكتاب، الأستاذ الدكتور كلود أليغر، وزير التربية الفرنسي الأسبق، والمعروف من خلال مناصبه الكثيرة، وأعماله العديدة، وجوائزه الهامة التي تغيب عنها جائزة نوبل غير المخصصة لعلوم الأرض، الذي رحب بي وبفكرتي في لقاء اليوم التالي، ثم دار فايارد التي منحتني موافقتها الآنية فعدت ومعي جواز سفر لرحلة غير عادية، انتهت بدار طلاس التي عانقت الفكرة فوراً كعادتها معي.

أما الكتاب فهو نوعي بكل ما يحويه من المعرفة العلمية، فهو بمثابة أساس متين لكل من يريد أن ينطلق في هذا العالَم الشاسع الرحب الممتع، يتجول بين هموم ومتاعب العلماء، ومتعة التنافس والإبداع، ولمحات التألق والازدهار النفسي، وتوجع الضمير على جلد هذا أو ذاك. فتاريخ الفكر الإنساني يعبق بكل هذا. وأما الجانب الآخر من الكتاب فهو ذلك الأسلوب الشيق السلس المتناغم، السهل الممتنع، بلغة مبسطة جذابة، تستخدم أسلوب

الرمز والمجاز، أكثر من لغة المباشرة، الذي لا يغيب عنه شرح أو تفسير لمفهوم أو ظاهرة أو رقم*. وهكذا تمتعت بكل مضامينه العلمية واللغوية والإبداعية، في فضاء رحب مريح لا يخلو من لمحات تحليق مع هذه الفكرة أو تلك تحليلاً وتركيباً واستيعاباً. وهذا ما يفسر: لماذا إذا أردت الانصراف، وعزفت على أوتار أخرى، قررت بحماس أن هذا العمل خُلِقَ لك؟.

إنني لفخور وسعيد لتقديمي هذا المؤلَّف إلى أبنائنا الطلبة في المراحل كافة ليقرؤوه، ويجعلوا آباءهم يقرؤونه، ثم لكل طالب معرفة، فهو ملحمة. أبطال دفع البعض منهم الغالي والرخيص من أجل اكتشاف أو اختراع لصالح الإنسانية. فهذا الذي جُلِدَ، وذاك الذي حرق وهو حي، وآخر نُفِيَ ولفّه النسيان، وسيدة صرعها السرطان وهي تحاول فهم لغزه. أوتظنون أن تاريخ الاكتشافات مرَّ في سلام هادئ؟ كل تاريخ الفكر والاكتشافات مليء بالجلَدْ، وهبات الأمل، وليس هذا الزمان إلا امتداداً له، في حالاته الأشد، ربما بأدوات أقسى وأبلغ. ولكن الوطن يستحق هذا وأكثر. نعم إنه الوطن وحقه علينا مهما قسا البشر، الوطن أولادي وأولادكم وأولادهم، أولاد حارتنا، وضيعتنا، وبلدتنا، وسورية وكل العرب.

عندما كنت فتياً كنت مأخوذاً بأبي الذي يموت تعباً لتأمين أقلامنا ودفاترنا، وكان زملائي يسألونني: ماذا تريد أن تصبح مستقبلاً؟ وكنت أجيب: طبيباً أو مهندساً! ولمَّا كبرت كان عصر النفط، فقلت: أدرس النفط لأصبح غنياً وأريح أبي، فدخلت الجيولوجيا. ومنذ الخطوات الأولى قررت أنني سوف أتابع دراستي في فرنسا وتم لي ذلك. لكن لو أنني صادفت هذا الكتاب يومذاك فربما تغيرت كلياً مسيرة حياتي المهنية، فكل فصل فيه مليء بالفضولية والاكتشافات التي يسيل من أجلها لعاب المبدع. ولكن إذا كان

---

* استخدم المؤلف هذه الشارة لشروحه، وقد وجدت أن الطبعة العربية الموجهة للقارئ العربي بحاجة إلى بعض الشروح، فلم أتوانَ عن ذلك، وسيشار إليها بعبارة **المترجم**.

التاريخ لا يعيد نفسه! وهي مقولة ليست مطلقة، فلقد مضى أبي ولكن هاهم الأولاد والأحفاد. فعلى وقع هذه الطموحات الواعدة أقدِّم هذا العمل الكبير، ثقافة ومعرفة للجميع ليعبّوا منه، فأمية القرن الحادي والعشرين لم تعد أمية القراءة والكتابة، بل أمية المعرفة. وليغنوا الوطن علوّاً، وليساهموا في مستقبل العزة والكرامة. وإلى لقاء آخر في عمل جديد تأليفاً أو ترجمة إن شاء الله ولي التوفيق...

المترجِـــم



1

الذرات مفتاح العالم

ذري، مُذَرَّر (مشعع)، مذَّرِر، طاقة ذرية، ساعة ذرية، قنبلة ذرية. نحن إذاً نغوص في عالم الذرة. الصفة المشتقة من مادة «الذرة» تشير بشكل دوري إلى المحتوى (القنبلة)، إلى الكائن (المذَّرِرْ ـ الصانع)، التقدم (طاقة أو إيقاع).

نحن محاطون ببيئة الذرة. الكل، فيزيائيين، كيميائيين، بيولوجيين، فلكيين وحتى الجيولوجيين يقولون لنا: يجب التفتيش في الذرة عن سبب كل الحوادث، الصغيرة أو الكبيرة، الطبيعية أو الاصطناعية: الماء، النار، الهواء، الأرض، البرد، الدفء، حيث لكل منها تفسيره على مقياس الذرات. الذرة هي مفتاح العالم. الذرة هي إذاً رمز الحداثة، قلب التفسير «العصري» للعالم. ومع ذلك فإن مفهوم الذرة يعود لأكثر من ألفي سنة.

المادة مكونة من جزيئات ومن بلورات، وهذه الأخيرة هي نفسها تجمعت من ذرات متشابهة أو مختلفة. ومهما كانت صغيرة ـ فإنه لابد من مليارات مليارات الذرات أو الجزيئات لتكوين غرام من أية مادة. هذه البنيات العنصورية مسؤولة عن كل خصائص المادة بل كل المواد: اللون، الرائحة، القساوة، اللدونة، الوزن، الحجم.

كل ما يجعل عالمنا حساساً يجد أصله على مقياس أصغر ما يمكن ميكروسكوبياً، نطلق عليه اللامتناهي في الصغر. نعلم ذلك بيقين منذ نهاية القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين. ولكن نعلم أيضاً أن الإنسانية، احتاجت ألفين وثلاثمائة سنة للقبول بما هو الآن فكرة مبتذلة. إذاً ألفان وثلاثمائة سنة من الريبة والظلمة (الجهالة).

على أطراف بحر إيجة، منذ 400 سنة قبل السيد المسيح

بينما كان يعيش سقراط في اليونان، كان ديموقراط يعيش على أطراف بحر إيجة، هذا الإنسان الذي كان يجب أن يكون مشهوراً كسقراط لو أن العلميين كان لهم إعلاناتهم كما للفلاسفة. كان ديموقراط، بالفعل، قد اكتشف منذ 400 سنة قبل السيد المسيح، أن **المادة مكونة من ذرات في حركة دائمة ومن فراغ.** اعتمد برهانه على ملاحظة ــ أو ما يعبر عنه بخبرة ــ خليط الخمر والماء.

في ذلك الوقت، كان الخمر يخزن وينقل بشكل عجينة. ومن أجل شربه، تحل العجينة في الماء، فيأخذ هذا الماء الشفاف يحمرُّ شيئاً فشيئاً. ولكي ينحل الخمر في الماء، اعتقد ديموقراط، أنه مكون من الأجزاء العنصورية الصغيرة التي، بانفصالها عن العجينة، تنعزل الواحدة منها عن الأخرى وتتغلغل في الماء لتعطيه كله هذا اللون الأحمر الزهري.

يجب أن يكون الماء، نفسه إذاً، مكوناً من أجزاء مادية وفراغ باعتبار أنه كان يقبل اندساس أجزاء الخمر وحركاتها. ما هي إذاً القوة المحركة، التي كانت تدعو الماء والخمر إلى الاختلاط؟ وجواباً عن هذا السؤال الأساسي، كان ديموقراط يجيب مؤكداً بأن الذرات ــ هكذا سمى الأجزاء المادية الصغيرة ــ تتحرك باستمرار، وأن هذه الحركة، هذه المسيرة العشوائية هي التي تولد الخليط، لأن هذه الحركة ــ طبقاً لما كان يراه ــ

كانت تتم عشوائياً. بالنسبة له " هذه **الذرات**" هي المكونات العنصورية للمادة وهي غير قابلة **للتحطيم**. إنها المكونات **النهائية** لكل شيء. لقد أكد أن الذرات هي بأشكال متعددة وألوان متباينة. بعضها له عقفات، فهي تستطيع إذاً أن تتعالق، بعضها دائرية، بعضها طويلة وبعضها خيطية. كل ذرة خاصة تتوافق مع مادة مختلفة، تتصف بخصائص مختلفة باعتبار أن ذراتها مختلفة.

تثار هذه الذرات بحركات تحريضية دائمة، وتتحرك هكذا في فراغات الفضاء، هذه الحركات هي عشوائية وغير منتظمة. تتلاقى هذه الذرات التائهة، من وقت لآخر ومصادفةً، مع ذرات أخرى وتصطدم بها. تقود هذه التصادمات الذرية، أحياناً، إلى أن تتجمع هذه الذرات وتتحد وتترابط فيما بينها، أو تتزاوج فيما بينها، خاصة تلك التي تكون معقوفة أو خيطية. وهذه التجمعات المتباينة الرخاوة، هي التي تكوِّن المادة السائلة أو الصلبة. جميع تنبؤات ديموقراط أو معظمها تأكدت. ولا أعني الذرات فقط ولكن أيضاً أعني كون المادة مكونة في جزء منها من فراغ. نعم، هذا صحيح، طبقاً لتعابير الحجم، المادة هي من الفراغ. تعالوا إذاً نفكر بماهية الذرة. إنها مكونة من نواة تضم كل كتلة الذرة ومن إلكترونات تدور حولها وتشغل الفضاء؛ أي الفراغ. ولنفكر في أنه إذا كانت ذرة الكربون كرةً قطرُها متر واحد فإن الإلكترونات الستة تدور حولها وستنتقل في كرة نصف قطرها سيكون مئة كيلومتر (من باريس إلى أورليون، حيث أورليون مدينة تبعد حوالي 100 كم عن باريس). المادة إذاً، أي أنا، أنت، الأرض، تكوِّن كل شيء مملوء أساساً من فراغ، والحركة هي روح ووقود هذه المادة، وإذاً فالحركة تملأ الفراغ. في البداية كان الفعل... أي الحركة. ولأن المادة العادية مكونة من فراغ، فإنها في ظروف استثنائية، يمكن أن تنضغط لتعطي، مثلاً، أقساماً كونية غريبة نسميها زعانف بيضاء، كواكب نيترونية أو ثقوباً سوداء، أجساماً كثافتها أعلى بمليارات المرات من المادة التي

نعرفها. ولكن ما هو الواقع؟ من أجل ذلك يمكن أن نتصور أنه في يوم ما، منذ أزمان بعيدة، أن مادة الكون، كل مادة الفضاء الكوني، كانت متركزة في نقطة صغيرة بحجم رأس الدبوس ثم تمددت فجأة لتعطي ولادة تدريجية للمادة التي تكوِّن اليوم الكون، أثناء ذلك الحادث الخارق الذي نسميه الانفجار العظيم.

ضمن حركات المادة هذه، بنماذجها وطبيعتها المتعددة، تتواجد، خاصة، الذرات التي تتحرك دون توقف. وحركة الذرات هذه يعبر عنها، في العلوم الحديثة باسم مميز هو درجة الحرارة. عندما يكون عندك حرارة فمعنى ذلك أن ذراتك تتحرك أكثر من الحالة العادية. باختصار منذ أكثر من ألفي سنة، فهم ديموقراط كل شيء، على الأقل استكشف كل شيء منذ أكثر من ألفي سنة من النسيان والأخطاء الجسام.

أرسطو قتل الذرات

هذا النموذج من تفسير ماهية المادة حقق، بادئ الأمر، نجاحاً كبيراً، وتبناه أبوقير، فيلسوف يوناني آخر، وأيضاً تبناه بلاتون الكبير، ولكن بما أنه كان مقتنعاً بأن الهندسة تقود كل شيء (ألم يكن محفوراً على واجهة الأكاديمية: «لا أحدَ يدخل هنا إذا لم يكن عالماً بالهندسة؟»)، فقد قرر أنه توجد خمسة أنواع من الذرات، كل منها له شكله الهندسي المميز (بالتشارك بأوجه مثلثاتية!). بمعنى آخر، أنه إذا كان بلاتون يؤمن بالذرات، إلا أنه لم يكن يجعلها قلب المجموعات.

جاء بعد بلاتون أرسطو. أرسطو، كما يقال، هو أكبر فلاسفة العصر القديم. هو مبدع المنطق، وهو مبدع الطريقة العلمية التي تجمع الملاحظة والتجريد والعلوم الطبيعية أيضاً، وهو مبتكر الميتافيزيقية. باختصار هو نموذج خارق، وكان يُنظر إليه هكذا في العصر القديم. كان تلميذ بلاتون،

وهذا الأخير تلميذ سقراط، وكان أستاذ الإسكندر الأكبر، سيرة تحكي عن حالها. وهكذا، كما سنتأكد عبر هذا المؤلَّف، فقد انخدع علمياً بكل شيء وسبب أضراراً بالغة. ومع ذلك فإن طريقته في طَرقِ القضايا والمسائل العلمية كانت هي الأصح.

شفَّاف في الأساليب والمنهجيات، لكنه بدا غير قادر على تطبيقها بشكل صحيح. كتب آرتر كوستلر في المتروبصون Somnambules (1965): «فيزياء أرسطو هي حقيقة علوم كاذبة لم ينجم عنها خلال ألفي عام اكتشاف واحد، اختراع واحد، أو فكرة جديدة واحدة». حكم قاسٍ ولكن مع الأسف صحيح.

هكذا إذاً تصدى أرسطو للذرات واتخذ وجهة مخالفة لمعلمه بلاتون (وهو موقف يكاد يكون قائماً دوماً). ولكن ما هي براهينه؟ إنها نوعان: رفض أولاً، أن يجري تمييزاً بين المادة والشكل الذي تأخذه. فرفض كلياً فكرة الأجزاء الصغيرة المثارة بحركات عشوائية لا على التعيين والتي تتلاقى، تتصادم فيما بينها وأحياناً تتشارك لتشكل شكلاً ما. العشوائية تولِّد اللاشكلية. كيف يمكن لبلورات بأشكال هندسية مثالية أن تكون ثمرة المصادفة؟ كيف يمكن للشكل أن يولد عفوياً من اللاشكل؟ كان ذلك يبدو له مستحيلاً*.

مجموعة ثانية من الاعتراضات: اعتبر أرسطو أن المادة مكونة من مادة مستمرة وبالتالي فليس هناك من مكان للفراغ. موضوع وجود الفراغ شوَّش الأذهان حتى بداية القرن العشرين وربما حتى يومنا هذا.

---

* الواقع أنَّ هذا الموضوع لم يعالج فعلياً إلا في يومنا هذا عبر ما يعرف بالفيزياء اللاخطية.

أخيراً تبنى أرسطو نظرية إمبيدوكل أكريجونت (نسبة إلى مدينة أكريجونت وهي مدينة رومانية صغيرة جنوب السيسيل) ومضمونها: أن المادة مكونة من أربعة عناصر هي النار، الهواء، الأرض، الماء.

تجتمع هذه العناصر الأربعة لتعطي الميزات الأساسية الأربعة: الحرارة، البرودة، الجفاف والرطوبة. وهكذا وصف آلية عمل العالَم الفيزيائي (بمساعدة مجموعة من المعادلات) كما يلي:

حرارة + جفاف = نار

حرارة + رطوبة = هواء

برودة + رطوبة = ماء

ولكن أيضاً:

نار + أرض = جفاف

ماء + هواء = رطوبة

ماء + أرض = برودة

تبدو هذه المنظومة متماسكة، دقيقة، بسيطة وليست بحاجة البتة إلى ذرات! نعم إنها متماسكة، ولكنها كلياً خاطئة.

الذرة الملحدة

ما أن تكلم أرسطو حتى دفن مفهوم الذرات. بالطبع من وقت لآخر كان البعض يثير ذكرياتها. أي جهد ضائع! لأن النظرية الوحيدة المسموحة كانت نظرية العناصر الأربعة. غير أن الذي سيقرر نسيان نظرية الذرات خلال عدة قرون هو موقف الكنيسة الكاثوليكية، البابوية والرومانية التي أدانت نظرية الذرات دون تردد تحت طائلة عقوبة الطرد والتطهير بالحرق.

ما علاقة الكنيسة بالذرات؟ بالتأكيد، كانت الذرات مرتبطة بفهم ديموقراط، الذي قدَّم نفسه إنساناً واقعياً، وكان منطقياً أن ترفض الكنيسة

فهمه. ولكن السبب الأساسي لهذا الرفض كان أعمق من ذلك. السبب كان يمس، ويمس دوماً، موضوع القربان المقدس Eucharistie وما نسميه بلغة العارِف استمالة القربان إلى دم السيد المسيح. Transsubstantiation.

ماذا يعني ذلك تماماً؟ لنقرأ الإنجيل حسب القديس لوقا: «أثناء تناولهم الطعام، أخذ السيد المسيح الخبز، وبعد ترديد الحمد والشكر، قطعه وناولهم منه قائلاً: خذوا ! هذا من جسمي. ثم تناول كوباً وبعد أن شكر الله ناولهم إياه وشربوا منه جميعاً وقال لهم: هذا دمي، دم التحالف الذي أريق من أجلكم».

ترى الكنيسة الكاثوليكية أن المؤمن الذي يتناول قربان الكنيسة (يعمد في الكنيسة)، فهذا **فعلياً** جسم و**دم** السيد المسيح الذي يمتصه مادياً وحقيقة. المسيحي الكاثوليكي هو، إذا أردنا، نوع سامٍ من آكل جنسه... (الكنيسة البروتستانتية، توقفت عن هذا الاعتقاد وتفسر هذه المرحلة من الكتاب المقدس، التوراة، بأسلوب مجازي، ولكن بالنسبة للكنيسة الكاثوليكية فإن ذلك هو عقيدة حاضرة دوماً منذ مجمع ترنت Trente عام 1553).

يبدو أن نظرية الذرة تتعارض كلية مع هذه "الظاهرة". إذ كيف يمكن لأجزاء صغيرة، هي الذرات، غير قابلة للتجزئة، أزلية، غير قابلة للتحطيم، غير قابلة للتحول وتتحد فيما بينها عشوائياً، أن تعاني من تحول إلى دم (السيد المسيح)، وأن تتحول عبر الزمان والمكان بينما لا يمكن تحويلها؟ بالنسبة لمؤيدي نظرية أرسطو، التي تؤكد على التشارك بين الشكل «والمذاق» فإنه يكفي تخليد فكرة الشكل وتأكيد أن الطعم يتغير بمعجزة لأنه ليس هناك البتة ما هو غير قابل للتحول إلا الذرات. أحاسيسنا ومداركنا، كي نرضي العقيدة، قد تكون مخدوعة! فنظرية الذرة ترفض قطعياً الفصل بين والمادة والجوهر. سيجد القارئ دون شك أن هذه المعركة

عقيمة، وأنه منذ لحظة اعتبارنا بوجود معجزة فإنها يمكن أن تحدث في أي ظرف كان.

المسيحيون العصريون كالأب الموقر مايو، وهو يسوعي ومدير بحث سابق في المركز الوطني للبحث العلمي الفرنسي، يؤكدون اليوم أنه «سر الإيمان ولا علاقة له بالجسم» ولكن المسيحيين العارفين من القرن الأوسط وعهد البعث، منذ توماس داكان، كانوا يطمحون إلى الربط بين العلم والدين. كان توماس داكان يقول: «حل قوانين الطبيعة هو في الاقتراب من الله»، والواقع أنه كان يغذي الأمل الكامن بالبرهان العلمي على وجود الله. في هذا الإطار فإن الذرات لا تتوافق مع الإيمان الكاثوليكي، أو على الأقل مع العقيدة. سيكون لهذا الموقف نتائج مرعبة، فقد أُحرِق جيوردانو برينو، الذي دافع عن فكرة الذرة ولا نهائية الكون، حياً في روما في عام 1600. وعوقب غاليلي، الذي اعتمد مفهوم الذرات، بالسجن مدى الحياة في عام 1633. وهكذا أصبح الجميع حذرين مع استثناءات قليلة.

أسقُف دين Digne، الأب غاسوندي (1592 ــ 1655)، من أصحاب العقول المميزة في ذلك الوقت، والمنسي بعض الشيء في أيامنا هذه، دافع بشدة عن فكرة الذرة والفراغ، وحاول بشجاعة المصالحة بين هذه الأفكار والإنجيل، واكتشف بتفكيره، قبل الجميع، الفرق بين الذرات والجزيئات (وسنسرد ذلك لاحقاً). ولكن في ذلك الوقت كان غاسوندي معزولاً وإذ لم يحاكم فقد أُهمل، وهذا، بالنسبة لعالِم، أخطر وأسوأ.

من بين المعارضين للذرة المشهورين، يجب أن نذكر ديكارت («غير مفيد وغير حاسم» كما سيقول باسكال، ولكنه بطل فرنسا!) ليبنز، أحد العباقرة الكبار في ذلك العصر (وعدو ديكارت كما نيوتن). من بين أنصار

نظرية الذرة إضافة إلى غاسوندي، برينو وغاليلي، لابد من ذكر نيوتن (بالطبع!)، روبير بويل، جون لوك، ديدو.

كل هذه المواقف هامة لمن يريد أن يتعاطى مع تاريخ العلوم أو مع الفلسفة، ولكنها لم تتمخض عن أي شيء جديد، ولا عن أية خبرة حاسمة، ولا عن إثبات وإنما هي مجرد آراء. لكن العلم لا يبنى على آراء بل على براهين تُحسَم أخيراً بالتجربة.

أمريكا السبَّاقة

على أن التقدم الأهم الذي حدث خلال الفترة التي شهدت نهاية النظام القديم يعود لبنجامين فرانكلين. كان بنجامين فرانكلين سفير الجمهورية الجديدة، الولايات المتحدة، لدى فرنسا. تعلمنا جميعاً في المدرسة أنه كان عالماً وأنه هو الذي اخترع واقية الصواعق، وعلمنا حديثاً، بفضل السينما، أنه كان يعيش في فرنسا حباً عاصفاً مع باريسيات. والذي نعرفه بشكل أقل أنه أجرى على إحدى البحيرات بالقرب من لندن اختباراً داهياً وخارقاً. حيث لاحظ أن الزيت المصبوب على الماء يتمدد على السطح، فأخذ ملعقة من زيت الزيتون وصبها على سطح البحيرة.

صنع الزيت بقعة كبيرة تمددت وأخذت شكل إهليلج كبير، ثم قاس بعناية هذا السطح فكان تقريباً 100م^2. والسؤال: هل كان بإمكانه استثمار هذا الاختبار العبقري؟ كان يكفيه أن يتذكر أن **السطح مضروباً بالسماكة يساوي الحجم**، أي أن سطح بقعة الزيت مضروباً بسماكته يجب أن يعطي حجم الملعقة، أي تقريباً سنتيمتراً مكعباً واحداً. إذاً كان بإمكانه حساب سماكة البقعة، ولو أنه فعل لتبين له أنها 10^{-6} سم، أي 100 أنغستروم. ومع أنني لا أعرف ما إذا أجرى الحساب أم لم يجره، لكنه أكد أن الجزيئات كانت صغيرة جداً.

بعد حوالي قرن مضى كرر اللورد رايلي التجربة، وقام بالحساب وحصل على تقديرات أولية عن أبعاد الجزيئات (150 أنغستروم) وقام بنشرها. بعد تجارب خلائط ديموقراط، كانت هذه التجربة حاسمة. لو أن ديموقراط نفسه كانت لديه الفكرة (كان اليونان يستعملون زيت الزيتون) لبدت الإنسانية مذهولة على مدى ألفي سنة، لأنه لو تأكد اختبار خليط ديموقراط واختبار بنجامين فرانكلين، لتوفر كل ما هو مطلوب لتأكيد الذرات، بحساب الأبعاد والعدد، وبالأخص العدد. فالواقع أنّه لو افترضنا أن هذه الذرات (الجزيئات) لها أبعاد من مرتبة 10^{-8} سم، فإن حجمها سيكون 10^{-24} سم^3، باعتبار أنه في كل سم^3 واحد يوجد 10^{24} منها. هذا هو، تقريباً، العدد الهائل* (والذي سنسميه لاحقاً باسم العالم الإيطالي، أميدي أفوغادرو، الذي أعطاه قيمة أكثر دقة**). لكننا مستمرون بمعالجة الضبابية الحاصلة بين الذرات والجزيئات! فمتى وكيف تم التمييز بينهما؟.

الذرات ضد الجزيئات: مباراة متعادلة

تحدثنا بادئ ذي بدء عن الذرات، ثم وصلنا إلى الجزيئات. فما هي العلاقة بين هذين المفهومين؟ كثيرون يخلطون، حتى يومنا هذا، بين الذرات والجزيئات، ولا يبدو أنه تم فعل شيء هام يوضح ملابساتهما.

الكيميائيون الكبار الأكثر طمأنينة وذكاء وشهرة، الذين نفاخر بهم جميعاً والذين نقيم لهم النُصُبَ، قد تجادلوا وتحاربوا على مدى خمسين سنة للتمييز بين الذرات والجزيئات، حوالي نهاية القرن الثامن عشر. هؤلاء لم

---

* الواقع أنه أقل باعتبار أن جزيئات الزيت ليست دائرية ولكن في شكل سلسلة، كل منها يشغل حجماً أكبر من سابقتها.

** عدد أفوغادرو هو 6.023×10^{23}.

يميزوا بينهما. بعضهم يرى أن المادة مكونة من جزيئات وبعضهم الآخر يراها مكونة من ذرات... وكل منهم تمترس في موقعه. فمن الذي كان محقاً منهم؟ سنقول اليوم: «الفريقان، قائدنا!» لأن كلاً منهما كان جزئياً على حق، ولكنَّ كلاً منهما أخطأ قليلاً.

لِنَعُدْ إلى التقدم الحاسم الذي أُنجز في نهاية القرن الثامن عشر، وخاصة خلال القرن العشرين، حيث شهدنا أولاً بروز أنطوان لافوازييه، هذا المزارع العام الذي ضحَّت الثورة به (كجامع ضرائب أرستقراطي)، ولكنه وجد الوقت قبل ذلك لتأسيس الجيولوجيا الستراتيغرافية (الطبقية)، والكيمياء (معذرة قليلاً). فيما يخص الكيمياء، وهي المجال الذي يشغلنا هنا، صاغ لافوازييه ملاحظتين رئيستين: **الأولى** تتلخص بالحكمة البليغة «لاشيء يخلق ولاشيء يفنى، كل شيء يتحول». يلاحَظ هنا مؤشر لا برهانٌ، لكنه حجة لصالح فرضيات ديموقراط حول الذرة غير القابلة للتحطم، ولكن التي تتجمع وتتحد مع غيرها، وتقاوم كل شيء.

الملاحظة الثانية هي أنه توجد مواد لا يمكن تفكيكها إلى مركبات أبسط، يمكن تقطيرها وتنقيتها للشرب ولكن لا يمكن تعديلها. سمّى لافوازييه هذه المواد **العناصر الكيميائية**.

لا يمكن تكسير الذرات وهي أبدية خالدة حسب قول ديموقراط. توجد منها أنواع مختلفة وهذا الاختلاف هو الذي يحدد الأنواع المختلفة للمواد ومن هنا ملاحظتا لافوازييه: **الأولى** ديمومة الذرات، و**الثانية** بما أنه يوجد منها أنواع مختلفة فهي إذاً بعدد محدد.

غاب لافوازييه ولكن جاء بعده الكيميائيان بروست ودالتون خاصة ليتابعا ويكملا **ابتكار الكيمياء**. خلط مواد هنا، ملاحظة النتائج هناك، قياس، وزن، شم، تقطير ثم خلط فملاحظة، باختصار إجراء كل ما يتعلمه كيميائي ويقدِرُ على القيام به. وهكذا خلصا إلى النتيجة التالية: عندما تتحد مواد

لتعطي مادة جديدة يمكن عزلها ثم تفكيكها من جديد لوزن مكوناتها، نتأكد أن هذه الأخيرة تحافظ على نسبها نفسها بالنسبة لبعضها بعضاً وأن هذه النسب بسيطة مثل 1:2، 1:3، 2:3... إلخ. عندما يحترق الكربون في الأوكسجين فإنه يعطي غاز الكربون بمعدل 3 غرامات من الكربون لكل 8 غرامات من الأوكسجين. يمكن أيضاً أن يتكون أوكسيد الكربون (ناتج أبسط وسام!) حيث 3 غرامات من الكربون تتحد مع 4 غرامات من الأوكسجين. بالمقابل لا يوجد جسم بسيط ينتج عن اتحاد 3 غرامات كربون مع 4.3 أو 6.2 غرامات من الأوكسجين. وعليه ففي **انضمام (اتحاد) العناصر فإن النسب تكون محددة بدقة** ــ ومحددة برقم صحيح. يلاحظ هنا ظهور فكرة أن المواد (المكونات) المعقدة هي تشاركات من عدة ذرات من أنواع مختلفة وأن هذه المكونات تتحدد بالتشارك بين ذرات بنسب محددة بدقة تتباين بشكل متقطع (غير مستمر) طبقاً لقانون النسب (وهذا محقق)، لأنه عندما تكون النسب مختلفة فهذا لا يتحقق. بمعنى آخر لا تنتج مكوناً ولا يمكن تصنيعه.

هذه التجمعات (التشاركات) من 2، 3، أو أربع ذرات مختلفة تولِّد مكوناً جديداً، يتمتع بخصائص جديدة نسميه اليوم **الجزيئات**. فالماء (H_2O)، المكون من ذرة أوكسجين تتشارك مع ذرتين من الهيدروجين، هو جزيئة، والميتان (CH_4)، المكون من ذرة كربون تتشارك مع أربع ذرات هيدروجين هو جزيئة، وحمض كلور الماء (HCl)، هو جزيئة مكونة من ذرة من الكلور وذرة من الهيدروجين.

ولكن دالتون، دالتون الأكبر (1766 ــ 1844)، أمير الكيميائيين، رفض هذه الفكرة. بالنسبة إليه كل هذا هو ذرة. هناك الذرات البسيطة وهناك الذرات المعقدة، بل إنه رفض حتى تسمية ذلك جزيئة (مع أن المفهوم والكلمة متداولان منذ غاسوندي). عندما كتب دالتون في عام 1808

مؤلِّف أساس الكيمياء الجديدة بعنوان: «نظام جديد لفلسفة الكيمياء ـــ A New System of chemical philosophy» (والذي كان بمثابة «التوراة» في ذلك الوقت) لم يستخدم حتى كلمة جزيئة.

بالمقابل، وبعد بعض الوقت، اشتغل كل من الفرنسي جوزيف لـــوي غي لوساك (1778 ـــ 1850)، والإيطالي آميدي أفوغادرو (1776 ـــ 1850) (في العصر نفسه والعمر نفسه) على الغـــازات، ولكنهمـــا طـــوَّرا فكـــرة الجزيئات متجاهلين الذرات. بالنسبة إليهما فإن المادة مكونة من جزيئـــات بسيطة ومعقدة.

غير أن معركة الذرات البسيطة، الجزيئات البسيطة، الذرات المعقدة والجزيئات المعقدة قد تم تجاوزها اليوم بالتأكيد.

الترميز الكيميائي

حسمت البداية أثناء المؤتمر العالمي الأول للكيمياء عـــام1860 فـــي كارلسروه Karlsruhe (توفي جميع الرواد الأوائل)، حيث تقرر أنه توجـــد **ذرات** وأن هذه الذرات تتشارك لتشكل **جزيئات** (وأخيراً قد يجـــيء وقـــت لمؤتمرات تقدم فيها اقتراحات، من بيض وسود، تكون أحياناً جيـــدة) وتـــم بهذه المناسبة تطوير ترميز كيميائي، هو الذي يدرس في المدارس*. كـــل

* بدت المناقشات بين دالتون، غي لوساك وأفوغادرو كما لو أنها رمزية. الواقع أن الرهان والجزاف كانا أعمق من ذلك. لنتجاوز الخطابات الطويلة ونضرب مثالاً. فلكتابة تركيب الماء كان دالتون يكتب: $H + O \rightarrow HO$ (وهو خطأ). أما غي لوساك فكان يكتب: $2H + O \rightarrow H_2O$ (وهو أكثر دقة). وأخيراً أفوغادرو يكتب: $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ فكان بذلك يفاعل جزيئتي هيدروجين مع جزيئة أوكسجين وهو النموذج المعتمد اليوم. ولكن كي نفكر في الشروط الحالية، يجب التأكيد على أن $H+H \rightarrow H_2$ و $O+O \rightarrow O_2$، أي أن ذرتي هيدروجين تعطيان جزيئة هيدروجين وذرتي أوكسجين تعطيان جزيئة أوكسجين. وكما نلاحظ فالجزيئات يمكن أن تتشكل من تجمع ذرات من النوع نفسه أو من أنواع مختلفة.

نوع من الذرات له رمز: H (هيدروجين)، He (هيليوم)، Li (ليتيـــوم)، C (كربون). ونكتب مثلاً:

$C + O_2 \rightarrow CO_2$ أي: كربون + أوكسجين ← غاز كربون.

ابتداءً من هذا التاريخ فإن الكيميائيين الذين يعتقدون بنظرية الذرة (وهم لحسن الحظ كُثُرٌ) سوف يسرِّعون الأمور. نلاحظ بادئ الأمر أن بعض الذرات لا يمكنها أن تتشارك إلا مع ذرة أخرى واحدة، إذ ليس لها إلا «ذراع»، إلا «رابطة» كما قال ديموقراط. المثال النموذجي هو الهيدروجين. نسمي هذه القـــدرة للذرات على الارتبـــاط ***بالتكافـــؤ***. ذرات أخرى تستطيع الارتباط بذرتين إذاً لها ذراعان، أي رابطتان مثل الأوكسجين (H_2O: ذرتا هيدروجين وذرة أوكسجين). أيضاً ذرات تستطيع الارتباط مع ثلاث ذرات مثل الآزوت (N)* لتعطي الأمونياك NH_3 (ذرة آزوت وثلاث ذرات هيدروجين، الذي هو الأمونياك). وأخريات لها أربع روابط مثل الكربون، CH_4، الميتان حيث ترتبط ذرة كربون مع أربعة ذرات من الهيدروجين (بالتأكيد عدنا إلى المدرسة ولابد من بذل مزيد من الجهد).

بدأنا إذاً نستحوذ على أداة إدراك جميلة: ذرات، جزيئات، ترميز يسمح بالوقت نفسه بتحديد البنية عبر تركيبها وكذلك الطريقة التي تتحول بواسطتها هذه التجمعات – أي ماسنسميه قريباً التفاعلات الكيميائية. وهكذا لتكوين الميتان يمكن أن نكتب:

$$C + 2H_2 \longrightarrow CH_4$$

جزيء من الميتان جزيئتان من الهيدروجين ذرة كربون

---

* N هو رمز الآزوت بسبب النيتر (ملح البارود)، وهو عنصر يحـــوي على الآزوت قابل للاحتراق ومعروف منذ القِدَم.

فمنذ هذا الوقت تم إنجاز عمل أساسي. ما أن تتشكل **الجزيئات** بتشارك من ذرات حتى تكتسب **خصائص** (تفاعلية، رائحة، لون... إلخ)، **ليس لها أية علاقة مع تلك التي للذرات التي تشكل هذه الجزيئـــات**. الكل لا يســـاوي مجموع الأجزاء المكونة له. فالجسم الإنساني لا يتألف فقط من (رأس + جذع + أطراف)، بل إنه كلٌ متكامل. "ما أحبه فيك هو أنت" كانت تغني بربارا، وهذا هو الحال على المقياس الذري. الجزيئة هي كينونة أصلية وليست خليطاً من ذرات، هي خلق جديد. الذرة المدموجة في جزيئة تفقد خصائصها الفردية ولا يمكن التعرف عليها بعدُ كما هو متفق عليه كيميائياً. الجزيئة تتمتع بخصائص أصلية حقيقية أو بشخصية مميزة إذا أردنا التعبير. الواقع أنَّ تغير طبيعة ذرة واحدة في تكوين الجزيئة يكفي لتغيير خصائص هذه الأخيرة بشكل جذري، حتى عندما تكون هذه الجزيئات كبيرة. وعليه فإن التمييز بين الذرات والجزيئات هو ضرورة. فعالم كل من الذرات والجزيئات مختلف، مع أن هذا الثاني مشتق من الأول.

إن إعطاء ذرة كل عنصر كيميائي رمزاً (C للكربون، H للهيدروجين، O للأوكسجين، N للآزوت... إلخ)، وكذلك معرفة عدد الذرات التي يمكن أن ترتبط معها، أي تكافئها، سمح للكيمياء بصياغة لغتها الترميزية. وهكذا أمكن خلق جزيئات على الورق من خلال كتابة تفاعلات كيميائية. وهكذا صارت الكيمياء علماً، ليس علم الذرات وإنما علم الجزيئات، إنَّه علم يمتلك أداة للمحاكمة النظرية ومخبر يسمح بمواجهة النظري مع الواقع، وحسب الحالة، بتحسين النظرية.

كان ذلك بداية لمغامرة عظيمة خارقة: خلق المادة، اختراع الجزيئات، (يقال: تركيب الجزيئات). فالكيميائي هو ذلك الذي يخلق عوالم جديدة، وبدون الكيمياء لا توجد تكنولوجيا، ونقطة الانطلاق هي الترميز الكيميائي.

الذرات التي تتشارك لتعطي جزيئات طبقاً لقواعد محددة ودقيقة، والمواد التي نتعامل معها كل يوم، والبلاستيك المتنوع الذي يسهل لنا الحياة، والسوائل المنظفة، والأدوية كل هذا هو كيمياء. سنرى أن هذه الكيمياء المؤسسة على الذرات والجزيئات، ما أن يتأكد مسارها النظري، حتى تخترع مركبات جديدة ومواد صناعية جديدة. إنها هي التي أسست للثورة الصناعية في بريطانيا، وفي ألمانيا خاصة في القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين، بينما بقيت فرنسا بفعل الصراعات الفلسفية، عالقة في المؤخرة برغم باستور والبعض الآخرين.

ردود الفعل على الفرضية الذرية

كان هذا العلم الرائع، الكيمياء، خلال الجزء الثاني من القرن التاسع عشر يتقدم بخطوات سريعة، إلا أنه يجب ألا نتصور مع ذلك أن كل تقدم جديد في معرفة الذرات كان يستقبل برشقة من التصفيق. العلم ليس بالتأكيد كنهر طويل هادئ ولا يقتنع به بسهولة بما في ذلك العقول الكبيرة، لأن الأفكار الجديدة تكون مزعجة جداً.

توزع الفلاسفة في معسكرين: الذريون من جهة والمعارضون للذرة من جهة أخرى. هؤلاء الذين يدعمون الذرات كانوا قلة: نيتشه، ماركس وأنجيل، بيرغسون. أما الذين كانوا معارضين للذرات، مثل هيغل، شوبنهور (الذي كان عنيفاً في معارضته)، كانْت (مدهش) وأيضاً بالطبع أوغيست كونْت (الذي سنتحدث عنه لاحقاً) فكانوا كثيرين جداً. والمدهش أنه كان بينهم أيضاً كيميائيون وفيزيائيون.

قاد المعارضة في ألمانيا إرنست ماش (مبتكر جدار الصوت) وأوستوالد (الذي كان مع ذلك لبعض الوقت صديق بولتزمان، الذري المقتنع

والمناضل الذي سنتحدث عنه). كانت الانتقادات حامية الوطيس حتى أن ماكس بلانك نفسه اعترف في مذكراته أنه بقي لوقت طويل متكتماً تُجاه النظرية الذرية، في حين أنه كان أحد أعمدة النظرية الجسيمية الكوانتية. أما في إنكلترا فبفضل أعمال دالتون ثم فراداي وماكسويل، فإن النظرية فرضت سريعاً. وفي فرنسا كانت المعارضة من قِبل علماء عظماء: هنري سانت ــ كلير دوفيل، كلود لوي برتولي (الذي كان يقول: "من رأى ذات يوم جزيئة غازية أو ذرة؟")، وخاصة الأكثر عظمة وقوة ومقارعة وإزعاجاً من الجميع: مارسولين برتيلو.

مُضِرٌ إيجابياً

الكارثة بالنسبة لفرنسا كانت الارتباط الذي تولد بين حركة الإيجابيين لأوغيست كونت، وإرنست رينان مع الكيميائيين الكبار المعارضين للــذرة المتجمعين حول مارسولين برتيلو، الــذين كـــانوا عقلانيــين، علمـــانيين، جمهوريين وإيجابيين. الشعار الذي كان يجمعهم هو معارضتهم للـــذرات. التعس هو أن هؤلاء الناس كانوا أقوياء. كان مارســولين برتيلـــو، أســـتاذ المجمع الفرنسي، وكان أيضاً سكرتيراً دائماً، لأكاديمية العلـــوم، فســـيطر عليها على مدى عشر سنوات. كانت خلالها كلمة ذرة ممنوعة التداول فـــي الأكاديمية. قبل ذلك كان وزيراً للتربية العامة، ومن خلال هذا اللقب منـــع الحديث عن الذرات في برامج التعليم.

كانت الخسائر الناجمة عن هذه القضية فادحة. أوغست كونت وإرنست رينان، المفكران، تناوبا الكرة مع برتيلو وسانت كلير دوفيل، العلماء كانت آراؤهم مسموعة لدرجة أنهم فكروا، كما يذكر رينان بتأسيس "دين للعلم Réligion de la science"، له عقيدته ورهبانه. فيما يخص القضية العلمية كانوا هم المرجع. كان المفهوم الجمهوري العلماني صلباً

لاحماً لكل هذا، وهكذا أخذ "جمهوريو العشاءات" يتضاعفون ضد "العلم المزيف" – عشاءات كان يشارك فيها طالب دار المعلمين العليا، اليافع جون جوريس. خلال هذه الولائم الجامعة للعلماء، كان الحضور يتم تلقائياً وبرغبة، لأنه يجب عدم الاعتقاد بأن الأمر كان يتوقف على إدانة الذرات، بل كان هناك معارضة لاستخدام المجهر في البيولوجيا، التليسكوب في الفلك (لأن هذه الأداة تخرب النظر، وليس ذلك طبيعياً)، حساب الاحتمال (لأن الطبيعة لا يمكن إلا أن تكون حتمية). ومع ذلك فإن هؤلاء الناس لم يكونوا أغبياء أو مجهولين. برتيلو كان كيميائياً كبيراً وسانت–كلير دوفيل أيضاً ولهما اكتشافات هامة. رينان كان كاتباً كبيراً. أما أوغست كونت، الذي لا ينتابني أي أسف اتجاهه، فقد أضاف إلى إساءاته تصنيفات للعلوم لاتزال أضرارها على العقول جاثمة حتى يومنا هذا.

هذا الاعتقاد المعادي للذرة جعل الحياة قاسية في فرنسا. فقد عرفت أستاذاً في الكيمياء، في السوربون، كان حتى أواسط 1950 يرفض الحديث عن الذرات في دروسه بذريعة أنه لا يوجد أي شخص رآها (كما كان برتولي). ولكَم أنا أسِفٌ لأنني لم أنجح، عندما كنت وزيراً، في أن يُزال تمثال أوغست كونت من ساحة السوربون ويحلَّ تمثال فيكتور هيغو ولويس باستور محله. لقد اكتفينا بتدويره، حيث من الآن وصاعداً يدير تقريباً ظهره للسوربون.

علبة أدوات الكيميائي

لِنعدْ إلى الكيمياء، التي بالرغم من حرج باريس، تابعت تطورها. وكما أشرنا من قبلُ فالكيميائي هو باني العوالم. إنه يعمل كطفل يتعامل مع لعبة "الليغو". إذ تحت تصرفه عناصر (الذرات) يجمعها آخذاً بعين الاعتبار أنه، تبعاً لطبيعتها، تكون هذه الذرات مجهزة بعدد محدد من الأذرع، بأبعاد

محددة... إلخ. الواقع أنَّ بعض الذرات أو بعض مجموعات الذرات يكون كبيراً وبعضها الآخر صغير: وهكذا فإنها تشغل فضاءات كبيرة أو صغيرة.

ضمن هذه الشروط، من الممكن تجاوز مرحلة الترميز الكيميائي الأولي، التي أثرناها حتى الآن، والانتقال إلى التعامل مع ثلاثة أبعاد من خلال تكوين تجمعات جزيئية في الفضاء.

تتوقف قواعد الضم أولاً على مقدرة مختلف الذرات على الترابط مع متجانساتها، أي على تكافؤ هذه الذرات. وهكذا فإن ذرة الكربون التي لها أربعة أذرع سوف تستطيع الاتحاد مع الذرات الأربعة من الهيدروجين التي ليس لكل منها إلا ذراع واحدة وتكون جزيئة رباعية الوجوه من الميتان CH_4. لكن الأمور تتعقــد عندما نضم عدة ذرات من العنصر نفسه. فمن ذرتين من الكربون يتكون الإيتان C_2H_6. بمعنى آخر سوف تكون جزيئات تزداد تعقيداً وتضم ذرات أكثر فأكثر. وهكذا فإن لغة الكيميائي ستنتقل من الآن فصاعداً من التمثيل الترميزي البسيط CO_2، H_2O، CH_4 إلى تمثيل تصويري ذي تفسير عقلي.

الارتباطات القوية والضعيفة

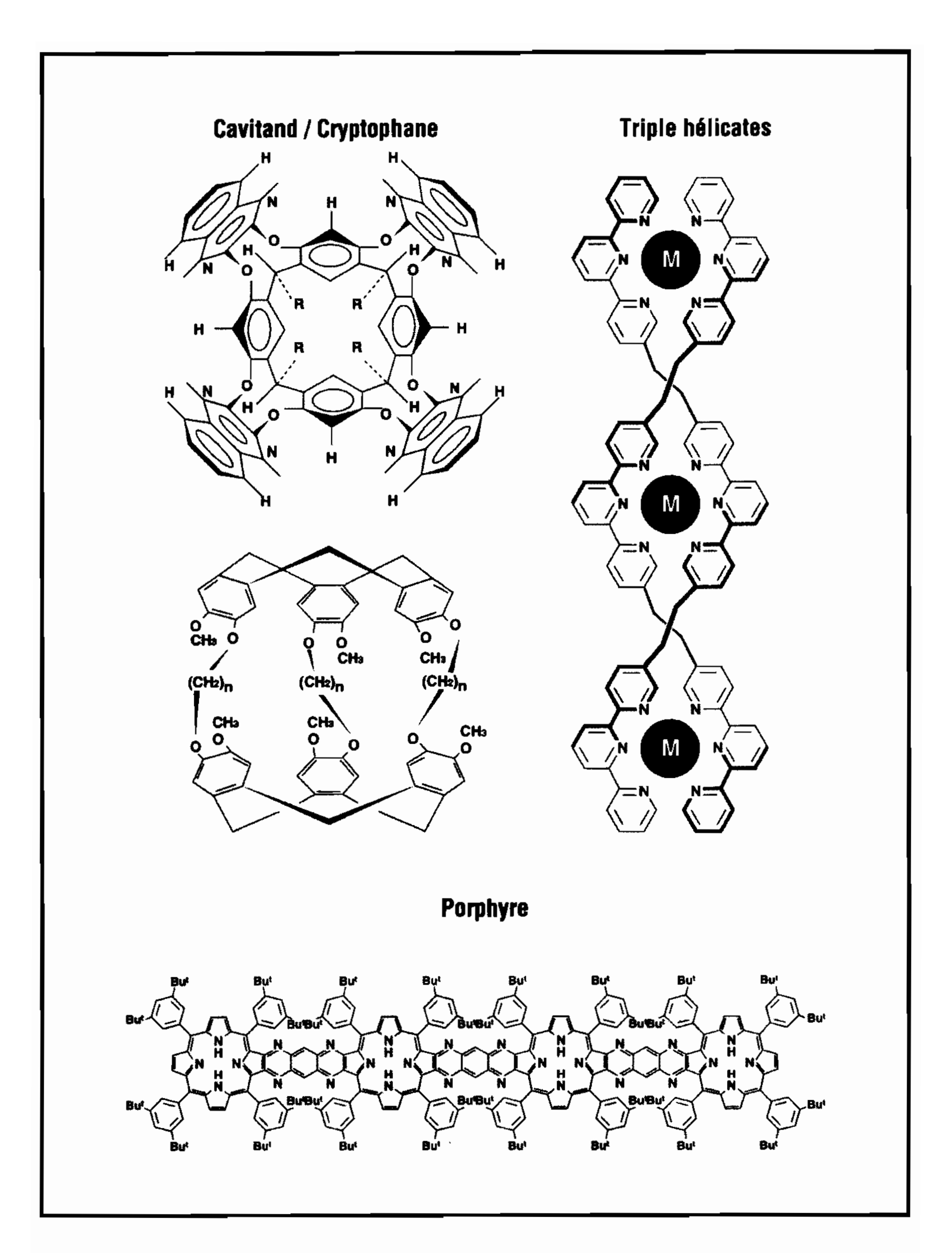
الكيمياء كالحب. وعلى كل حال فالبعض يقولون أن الحب كالكيمياء*، إذ أنه يوجد بين الذرات روابط قوية، وأخرى ضعيفة، وانقطاعات وردّات. هذا التنوع من الروابط هو المؤسس لحالات التنوع هذه. ففي داخل جزيئة، تكون الروابط قوية، ولكن في بعضها تكون أقوى من البعض الآخر، بحيث أن تفاعلاً كيميائياً، هو قبل كل شيء انقطاع في ترابط، يولد ترابطاً آخر أقوى. في داخل جزيئة عادية تكون الروابط ــ بشكل عام ــ كلها قوية. ولكنْ أي نوع من الترابط يربط بين الجزيئات؟

---

* انظر كتاب جان ديدييه فنسن، بيولوجيا الولع، باريس، دار أوديل جاكوب، 1994.

إذا كان في 16 غراماً من الميتان (CH_4) يوجد 6.023×10^{23} جزيئة، فما الذي يربط بينها؟ الجواب: إنها روابط ضعيفة. قوية بشكل يكفي لتماسك المجموع، ولكنها ضعيفة بحيث تسمح لجسم المجموع بالتشوه والسيلان. ترابط قوي، ترابط ضعيف، كما في الحب، وبالطبع مجال متوسط وهنا يكمن سر دقة الكيمياء. إذ أن الكيمياء، علم دقيق، الكيمياء علم خلق وإبداع يفترض كثيراً من الدقة والبراعة. أما الكيميائي فهو ليس بنقّاش يخلق عالماً ببعدين، وإنما هو نحّات يبدع أعمالاً ثلاثية الأبعاد متباينة، هو نحات اللا متناهي في الصغر. لا متناهٍ صغير يربط بين الجزيئات، ويجبرها على التزاوج فيما بينها. إنه نوع من النحت العشقي الغزلي... الجزيئي.

طبقاً لقواعد التكافؤ الكيميائي الأساسية، يجب إضافة قاعدة أخرى. أساسية أيضاً، تتمثل بأن بعض الذرات أو النقوش العنصورية يمكن أن تتشارك، أن تجتمع بأعداد كبيرة، إما في سلاسل طويلة، وإما في ثلاثة أبعاد (انظر شكل 1.1). تدعى هذه الظاهرة التشاركية لإخوة أو زملاء من الجزيئات أو الذرات البلمرة Polymérisation (اتحاد من عدة جزيئات لتشكيل جزيئة كبيرة). وهكذا يمكن لذرات الكربون الموجودة في قفصها الرباعي الشكل، الميتان، أن ترتبط الواحدة بالأخرى لإعطاء سلسلة طويلة من الجزيئات العملاقة حقيقة. إن هذه الخاصة التشاركية للكربون هي أصل الحياة، إذ أن هذه الجزيئات الكبيرة، كما سنرى، تكوّن الكائنات الحية. بجوار الكربون هناك ذرة أخرى، هي السيليسيوم، هو الآخر ينتظم في رباعيات وجوه ولكن هذه المرة مع الأوكسجين: SiO_4، هو الآخر رباعي التكافؤ، ويستطيع الارتباط مع مثيلاته وبالتالي فهو بوليميري. وهذه الخاصة هي الأصل في تكوين المواد الأرضية، والفلزات والصخور. الحياة والأرض، الكربون



شـــكل 1.1

مخطط ترسيمي يوضح بنيات بعض الجزيئات المعقدة التي تعرف بالكريبتات، المبتكـــرة من قبل حامل جائزة نوبل جان مارك لهن. اتفاقياً لم تمثل ذرات الكربون في الزوايا. في الأعلـــى إلـــى اليسار، N = آزوت، H = هيدروجين، O = أوكسجين، R = جذر. إلى اليمين، M هو معدن في مركز الهيكل. في الأسفل، بورفيرن Porphyrne معقد، BU[t] = بوتاديان Botadiène.

والسيليسيوم، الذرتان اللتان لهما أربعة أذرع ويمكنهما أن تنتج الجزيئات المتماثلة... أي منطق رائع، هذا الذي تمثله حقيقة، الكيمياء.

من بين الروابط الضعيفة، توجد واحدة استحوذت على اهتمام كبير في كيمياء الحياة، ندعوه جسر الهيدروجين. إذ يوجد بين ذرتي هيدروجين متزاوجتين مسبقاً في جزيئة تجاذب متبادل. لكن هذا التجاذب ضعيف ويمكن أن يتوقف مثلاً بالحرارة، ولكنه غالباً يكون كافياً لتأمين تماسك المادة كالماء مثلاً. ولهذا فإن الماء يسيل بسهولة، ولكنه لهذا أيضاً عندما يتبلور تحت تأثير البرودة فإنه يعطي بلورات الثلج الرائعة ذات الشكل السداسي. سنرى أيضاً أنه في داخل بعض الجزيئات الحيوية، مثل الجزيئة المشهورة ADN، تلعب الجسور الهيدروجينية دوراً أساسياً ولكن يجب ألا نستبق الأمور. ولنتذكر هذه الكلمة: **جسر هيدروجيني**.

البلورات

البلورات هي أيضاً جزيئات فوق عملاقة تجمع بين ذرات متماثلة في الاتجاهات الثلاثية. إنها بوليميرات ثلاثية الأبعاد (انظر شكل 1 ملون). لكن هذا التشارك يتم حول خاصة إضافية: التناظر. تشكل هذه التجمعات الذرية نسيجاً شبكياً، ورقة جدارية ثلاثية الأبعاد إذا أردنا، نوعاً من الشبك. في كل مكان وفي كل الاتجاهات تمارس روابط قوية بين الذرات، وهذا ما يمثل سر تماسك الأجسام الصلبة. ولهذا فإنها لا تسيل، وهي صلدة، تكسرية غالباً، وضعيفة التشوه.

والحالة هذه فإن تناظرات تجمعات الذرات المقذوفة إلى اللانهاية تنتهي بأن تقود لإعطاء تناظرات خارجية للبلورات، وهذا هو ما يفسر لماذا، مثلاً، تمتلك البلورات وجوهاً مستوية تتلاقى حسب زوايا محددة تماماً؟ ولماذا تقدم لنا هذه الأشكال الهندسية التي نحبها كثيراً والتي تزين،

بالمناسبات، خواتم رفاقنا. إن رقعة الثلج السداسية ومكعبات البيْريت (FeS_2) أو ملح الطعام ($Na\ Cl$) كلها بلورات.

هذه التناظرات التي نلحظها بالعين المجردة لكم هي فاتنة! وهي تشكل أساس مادة تعليم البلورات للطلاب، وهذه وتلك متشاركة بشكل كبير: الكريستالوغرافيا والمنرالوجيا... هذا الترابط بين تناظر على المستوى الذري وعلى المستوى المرئي، أي تناظر يرى بالتكبير بمليارات مليارات مليارات المرات عرف من قِبل القس هاوي عام 1784: "التناظرات التي نلحظها بالعين المجردة، على مستوى الإنسان، ليست إلا تعبيراً عن تناظر أكثر حميميةً لانتظامات على مستوى لا متناهٍ في الصغر الذي هو الذرة". وقد أكدت الدراسات الحديثة رؤيته هذه.

المادة وأنواعها

غير أنه من أجل بناء الجزيئات والبلورات علينا أن نعرف: ما هي علبة أدوات الكيميائي؟ وكم من الذرات المختلفة بحوزته؟ توجد في المادة 92 ذرة مختلفة. الأبسط منها (أي الأخف) هو الهيدروجين، والأكثر تعقيداً (أي الأكثر ثقلاً بين هذه التي نجدها في الحالة الطبيعية) هو اليورانيوم. ونستطيع اليوم أن نفسر لماذا وكيف المرور من هذا البسيط إلى المعقد، ولكن دعونا نترك ذلك إلى ما بعد.

إذاً هناك 92 عنصراً، ينتظم كل اثنين مع اثنين ثم ثلاثة مع ثلاثة مما يعني 125580 جزيئة ممكنة، ويمكن أن نتصور، وكنا رأينا ذلك، كم هي معقدة! بمعنى آخر يمكن القول أن عدد الانضمامات الجزيئية الممكنة نظرياً، لا نهائي، وهو ليس محدداً إلا بتخيلات الكيميائيين. ولكن هذه المرة تخيلات تجريبية. إذ أنه يجب عدم الاعتقاد أن إنتاج المركبات الكيميائية

عملية بسيطة وسهلة. المركبات الكيميائية التي تتشكل مصادفة، قليلة العدد، ومن أجل معظمها لابد من التغلب على خشية (أو بالأحرى حساسية) تبديها الذرات للانضمام إلى بعضها، أي أنه لابد من توفر شروط حدوث ترابطات ذرية دائمة. ومن أجل ذلك لابد من إيجاد الطريق الجيد والوسطاء الجيدين. هذا هو عمل الكيميائي، إذ أنه لا يكفيه أن يكتب تفاعلاً كيميائياً على الورقة ثم يحضر الذرات وينتظر أن يحصل التفاعل! لابد من اكتشاف الشروط اللازمة لوضع التفاعل موضع التنفيذ، الطريق التي يجب أن تُسلَك للوصول إلى حيث يجب الوصول. وهذا ليس سهلاً دوماً.

المادة، كل المادة، مكونة من ذرات ومن فراغ (سنقول لاحقاً من ذرات، أي من فراغ). الكون مكون من مادة، الذرة هي المكون الأساسي للكون مع كثير من الفراغ، ولكن ممَّ تتكون الذرة نفسها؟ ديموقراط كان يعتقد أنها المادة النهائية (الأخيرة) لكننا نعلم اليوم أن ذلك ليس صحيحاً.

2

ســـقوط الأجســـام

كرة البيتان وطابة التنس

عندما كنت وزيراً، كان لدي فكرة، بالتأكيد جريئة، أن أقول عَبْرَ التلفاز أن مبادئ الفيزياء الأكثر أساسية لا يعرفها معظم الناس. وأخذت كمثال على ذلك سقوط الأجسام، وتساءلت: "كم من الناس يعرفون أنني لو تركت في الوقت نفسه كرة بيتان* وطابة التنس، تسقطان من علو فإنهما تصلان إلى الأرض في الوقت نفسه مع أن كتلتيهما مختلفتان جداً؟ وقد أحدث هذا التأكيد العفوي ردود فعل شديدة من قِبل صحفي هجائي مشهور، هو الذي نشر بعد خمسة عشر يوماً مقالاً يعلن فيه أن تأكيدي المشار إليه خطأ، وأن المبدأ الذي ذكرته "ليس صحيحاً إلا في الفراغ، وأن مقاومة الهواء تغير كثيراً هذا المبدأ"، وأنهم استشاروا أستاذاً في الفيزياء أكد لهم وجهة نظرهم. وما جرى لم يكن بحد ذاته معيباً. ألم توجد مثل هذه الصحف الهجائيــة لتشــويه سمعة الوزراء؟ ولكن الــذي أزعجني هو أن الأدلة التي قدَّموها هي نفسها التي طرحهــا أعــداء غاليلي في القرن السادس عشر، عندما نشر عمله عن سقوط الأجسام**.

---

* – البيتان Pétanque لعبة شائعة في وسط فرنسا تستخدم فيها كرات حديدية. **المترجم**

** كانت كلمة Graves تحدد قديماً جسماً وازناً ثقيلاً (القرن السادس عشر) وكلمــة Grave مشتقة من كلمــة Gravis اللاتينيــة التــي تعنــي ثقيــل وتتمثــل بعبــارتي Gravité و Gravitation. ولكن أيضاً شائع استخدام "Grave" التي تعني شيئاً أو شخصاً له وزن.

ما يهم في الأمر، إضافةً إلى ما عمد إليه الصحفيون، هو أسلوب فهم وإدراك الفيزياء. ففي موضوع سقوط الأجسام فإن الكتلة لا تؤثر (أو تقريباً لا تؤثر)، لأن الفرق الصغير الناجم عن مقاومة الهواء على مدى عدة أمتار من السقوط هو زهيد وتافه. وما يهم هنا ليس المبدأ الذي يسعى العلماء لحمايته وإنما التجربة التي يمكن أن نجريها بأنفسنا. فتسلسل العوامل، والتقريب، ودرجة الكبر والاختبار المباشر تبدو كلها غالباً غير معروفة. ومن أجل معالجة ذلك ابتدع جورج شارباك ما يُعرف "بالتجريب الذاتي" حيث يعلم الأطفال المحاكمة العلمية بدءاً من التجربة. وبتواضع أكثر فإن ذلك هو السبب الذي دعاني لكتابة هذا الكتاب.

غاليلي وسقوط الأجسام

تعوّدنا في تاريخنا الحديث أن نُرجِع التاريخ الحديث لقوانين الجاذبية إلى غاليلي، أو بالأحرى إلى غاليلي على العكس من أرسطو. كان أرسطو يقول أن الأرض تجذب الأجسام وأن هذا الجذب متناسب مع كتلتها.

إذاً فإن ثمرة البلوط تقع بسرعة أكثر من ورقتها وهذا ما كان يستوجب البرهان عليه. على العكس، وانطلاقاً من تجارب من على برج بيزا، بيَّن غاليلي أنه إذا تركت رصاصة بندقية وقنبلة مدفع معاً في آن واحد من قمة البرج فإنهما تصلان معاً في الوقت ذاته* إلى الأرض. وعليه فإن الكتلة لا تتدخل في سقوط الأجسام، غير أنه من الصعب الاعتقاد بذلك. ومع ذلك فأنا أدعو القارئ من جديد لأن يجري التجربة بنفسه. لنصنع كرة من الورق ونأخذها بيد وفي الوقت نفسه نأخذ جسماً ثقيلاً متراصاً في اليد

---

* من غير المعروف أنَّ غاليلي قد اختبر ذلك بنفسه أم لم يختبره ولكن الأسطورة تذكر ذلك.

الأخرى ونتركهما معاً في الوقت نفسه، ترَ أنهما يصلان معاً إلى الأرض. ثم لنعد التجربة باستخدام أجسام أثقل، ثم مع كرة المضرب نرَ أن النتيجة دوماً هي نفسها، وإذا ما أجريت هذه التجربة أمام أصدقاء فلابد أن يُدهَشوا بالتأكيد.

لابد إذاً من أن تضطرب، تضطرب لأنك تعلمت في المدرسة أن الأجسام تنجذب بشكل متناسب مع كتلتها. أي أن الأجسام الثقيلة تنجذب إلى الأرض أكثر من الأجسام الخفيفة. إذاً؟ هل هناك خدعة؟ كلا. كل ما في الأمر أن المرء يكون مرتاباً شكوكاً كما كان معظم زملاء غاليلي في جامعة بيزا، ثم في بادوفا، حيث كان يوجه له الانتقاد نفسه. لم يُعِرَ غاليلي اهتماماً لمقاومة الهواء (كما هي الحال الآن). كان غاليلي يرد ببساطة كما يلي: لو أن السقوط يتوقف على الكتلة كما كان يعتقد أرسطو فإن رصاصة البندقية كان يجب أن تكون في الطابق الثالث من البرج عندما تصل قنبلة المدفع إلى الأرض، مادامت كتلتاهما مختلفتين. بمعنى آخر، وكما أوضحه غاليلي، فإن أرسطو هو الذي لم يأخذ بعين الاعتبار مقاومة الهواء بمقارنته بين ثمرة البلوط وورقتها! لأن مقاومة الهواء تتوقف كثيراً على شكل الجسم، فهي كبيرة بالنسبة لجسم مسطح، وأقل بالنسبة لجسم مدور (ومن أجل ذلك تُصنَع أجنحة الطائرات بشكل مسطح). بالطبع، لو نظرنا إلى التجربة بدقة كبيرة، فسنلمح أن مقاومة الهواء تلعب دورها في تجربة برج بيزا كما في تجربة ثمرة البلوط وورقتها، الأكثر بدائية، والتي تثير الجدالات مع الأصدقاء. لكن أثر مقاومة الهواء صغير حتى أنه مهمل وهذا ما فهمه غاليلي: لقد قال غاليلي نفسه أنه من أجل أن تنجح التجربة يجب إجراؤها في الفراغ. ولكن، يضيف قائلاً: لا يوجد فراغ بتصرفي. وكحلّ مؤقت اعتبر أنه يجري التجربة في الهواء مع تصور ما يمكن أن تكون عليه في الفراغ.

هذه الإيضاحات المتجددة، اضطرت الجامعيين (والدينيين) رغم ولعهم بأرسطو، للقبول بأن غاليلي كان محقاً (في هذه النقطة). ولكن ما هو التفسير والسبب في هذه المفارقة؟ الفكرة التي عرضها غاليلي هي التالية: عندما يكون جسم في حالة الراحة (السكون) فإنه لابد من ممارسة قوة عليه لتحريكه. وهكذا كلما كان الجسم وزوناً، كانت القوة التي يجب أن تحركه كبيرة، وكلنا يعرف أن تحريك فيل أصعب بكثير من تحريك فأرة. إن عطالة جسم تتوقف إذاً على كتلته. ولكنْ من جهة أخرى، فإن الجاذبية الأرضية تتوقف هي، أيضاً، على الكتلة*. وعليه فسقوط الأجسام هو نتيجة الفعل المتعاكس لقوتين، إحداهما (القوة الساكنة) التي تسعى لإبقاء الجسم ساكناً، والأخرى (قوة الجذب الأرضي، والمسماة أيضاً الثقالة) تسعى لتحريكه. الكتلة تتدخل، إذاً، في العلاقتين، في علاقة السكون وعلاقة الحركة: عندما نكتب المساواة بين القوى، نستطيع إذاً أن نحذف الكتلة المعبر عنها في الطرفين. وعليه فالتسارع الحركي لا يتوقف على الكتلة. هذه النتيجة بكل بساطة رائعة، وكما سنرى لاحقاً أساسية. ولكنها لا تجيب عن السؤال الأساسي: ما هو بالضبط قانون سقوط الأجسام؟

موسيقى الأجسام

تكمن عبقرية غاليلي في أنه فهم أن التجارب التي يجريها بواسطة الأجسام المقذوفة عمودياً، حتى من قمة برج بيزا، يصعب تحديدها كمياً بسبب صعوبة قياس الوقت بدقة، وعليه من أجل التقدم قدماً لابد من تغيير إطار التجربة. كل منا يعرف أنَّ زمن غاليلي لم يكن فيه موقت، غرونومتر، بل كان يعرف أن الزمن اللازم لكي تقطع كرة مسافة الأربعين

---

* سنطلق عليها تسمية الكتلة الكامنة (الساكنة).

متراً، ارتفاع برج بيزا المائل، هو ثلاث ثوانٍ تقريباً. وهذا سقوط سريع جداً بالنسبة لمراقب ينظر من الأسـفل إذ ما أن يعـد 1، 2 إلا وتلامس الكرة الأرض. إذاً ما العمل بدون موقت؟ هذا هو التحدي العظيم الذي كان يواجهه غاليلي. ثم ماذا لو تباطأت الحركة؟ ماذا لو أن السقوط يتم في 5، 6 أو 7 ثوانٍ بدلاً من 3 ثوانٍ؟ عندها ربما يمكن أن نأمل إجراء القياس. ومن أجل أن يتباطأ سقوط الكرات (أو الكريات) لجأ غاليلي إلى مستويات مائلة*. وهكذا صنع المستويات المائلة، المجهزة بأخاديد لتوجيه وقيادة الكرة، ثم باشر التجربة حيث أمضت الكرات 6 أو 8 ثوانٍ للوصول حسب درجة الميلان. 8 ثوانٍ، 8 ثوانٍ، واحد، اثنان، ثلاثة، أربعة، خمسة، ستة، سبعة، ثمانية. قال غاليلي لنفسه: إذاً هذا قابل للقياس، ومع هذا فإن العدَّ بصوت عالٍ بدا له غير دقيقٍ كفاية ولذا لابد من اختراع شيء آخر. وهكذا تناول وعاء مجهزاً بصنبور، ووضع تحت الصنبور وعاء آخر لجمع الماء المصبوب. أرخى الكرة من يده وباليد الأخرى فتح الصنبور، وتمّ ذلك في آن واحد. عندما وصلت الكرة إلى الأرض أغلق الصنبور ثم وزن الماء المجمع ليقيس الوقت. ثم صعَّب تجربته بمساعدة تلاميذه الرائعين والمخلصين للمعلم الاستثنائي الذي، إضافة إلى هذا، كان يعلمهم أن يتذوقوا النبيذ الطيب... فقام بوضع علاَّمات على مسافات منتظمة على مستوٍ مائل وقاس المدة التي تضعها الكرة للانتقال من علاَّم إلى آخر.

تحقق أن هذه الأزمان تزداد حسب المتوالية الهندسية التالية. **المسافة المقطوعة تتوقف على مربع الزمن.** (أي الزمن مضروباً بنفسه). ففي 1، 2، 3، 4 ثوانٍ، تتزايد المسافة المقطوعة كما يلي: 1x1=1، 2x2=4، 3x3=9، 4x4=16، أي أن الناتج هو 1، 4، 9، 16، 25... إلخ.

---

* يمكن أن نراها اليوم في فلورنسة.

ولكي يدقق هذه النتيجة التي أسرته، لجأ إلى حنكة حاكها أفضل المنفذين، حيث وضع على امتداد المستوي المائل جريسات بحيث تقرع عندما تقطع الكرة الخيط الذي يصلها ببعضها. ثم أخذ ينقل الجريسات تلمساً، إلى أن صارت بوضعية إذا ما تُركت الكرة، قرعت الجريسات بفواصل زمنية منتظمة: دنك، دنك، دنك... وكان يصغي بحساسية أذنيه القصوى لإيقاع الصوت (وهو ما كان علمه إياه والده الذي كان يمارس الموسيقى والرياضيات)، قائساً هكذا المسافات الفاصلة بين الجريسات، وتأكد أنها تخضع لمتوالية هندسية. هذه التجارب التي توضح وجود حركة متسارعة بانتظام، وكذلك قانون المسافات التابع لمربع الزمن، يكتب $x = a . t^2$، حيث a ثابت التناسب، كانت كافية لتحقق له مجداً أزلياً ولكنه ذهب أكثر قدماً. تبين له، تبعاً لدرجة ميلان المستوى، أن الكرة تقع بسرعة أكبر فأكبر، وأنها إذاً تضع وقتاً أقل فأقل لكي تقطع المسافة نفسها.

قام بقياس الأزمان، كما قاس زوايا المستويات المائلة. وحوّل ملاحظاته إلى وقائع كمية تؤكد أنه كلما كان المستوى مائلاً كان سقوط الكرة سريعاً. وهكذا فكَّر ملياً... وفتش... فجاءته فكرة رائعة: لماذا لا تمدد هذه النتيجة عندما تكون زاوية الميل 90 درجة، بمعنى آخر عندما يكون المستوي شاقولياً؟ وإذا كان يعرف سرعة السقوط من أجل 20%، 40%، 60%، 70% فلماذا لا يستخرج من ذلك القانون من أجل 90%؟ وإذا لم يكن قادراً على قياس أزمان السقوط الشاقولية اعتباراً من البرج، فإنه يستطيع حسابها بشكل غير مباشر اعتباراً من مستويات مائلة. ولكن مادام وجد كل شيء فلماذا كان علينا الانتظار ما يقارب الخمسين سنة، أي حتى ظهور نيوتن على الساحة العلمية، لكي نفهم منطق كل هذا والتعبير عنه رياضياً؟ الجواب هو أنَّ الأداة الرياضيـــة التي كانت بتصرف غاليلي بكل بساطة كانت بدائية جداً. فغاليلي لم يعرف الجبر. لم يكن يعرف ما أصبح

بعد عشرين عاماً أداة استخدام شائعة للعلميين. لم يكن بتصرفه إلا هندسة إقليدس أو فيثاغورث، التي كان يحتاج إلى القليل منها فقط. حتى هذه كانت في ذلك الوقت شيئاً كثيراً ولكنها لم تكن كافية للفهم. عندما نقرأ مؤلفات غاليلي (وأنا أنصح بترجماتها الممتازة التي طبعت حديثاً*) فإننا سنذهل من طول وتعقيد الإيضاحات والبراهين المبنية على علم الهندسة. شكلت المرحلة الانتقالية بين غاليلي ونيوتن، المرور من استخدام الهندسة إلى إخضاع الجبر والسيطرة عليه وحتى أكثر من ذلك قليلاً.

لا شيء يأتي من العدم

إذاً القفزة التي تمت من أرسطو إلى غاليلي هائلة. كان أرسطو يعتقد أن سقوط الأجسام يتوقف على الكتلة، وأن هذا السقوط يتم بسرعة غير منتظمة. أما غاليلي فبيَّن، على العكس، أن سقوط الأجسام لا يتوقف على الكتلة، (في الفراغ على الأقل)، بل أن سرعة السقوط لا تتوقف عن التزايد على مدى زمن السقوط، وسنرى أنَّ قفزة مماثلة ستحصل بين غاليلي ونيوتن.

موجز القول أن التاريخ آسر، إذ توجَّب مرور ألفي سنة لاكتشاف الحقيقة وتصحيح خطأ أرسطو الأساسي. مع الأسف يبدو ذلك شيئاً من الأسطورة الخالصة. فغاليلي لم يتطرق إلى المسألة مصادفة، ولم ينشر عبقريته في محيط من المجهول على مدى آلاف السنين، إنما أفكاره كانت من قبل مذاعة للعلن. نعم كان لغاليلي متقدمون ولاشيء يخلق عفوياً، في العلوم كما في أمور أخرى.

---

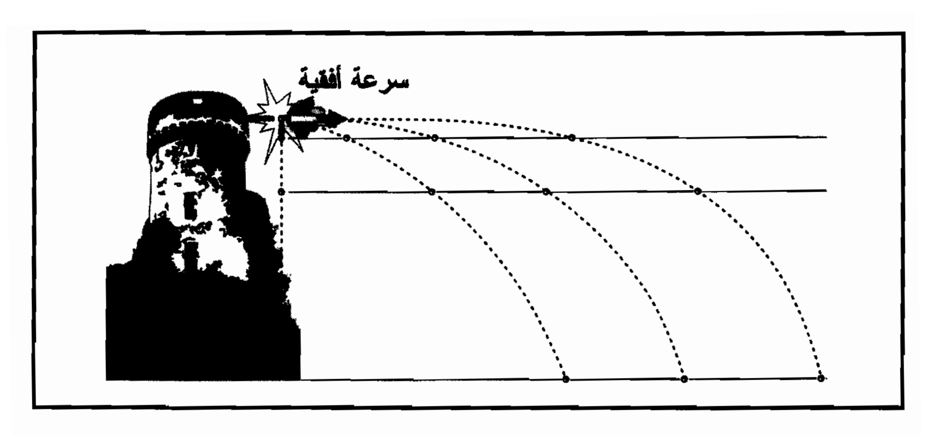
* غاليليو غاليلي، حوار حول نظامي العالَم الكبيرين، باريس، سويل، 1992، رسول النجوم، باريس، سويل، 1992.

في القرن الرابع عشر، كان ألبيرت دو ساكس قد فهم حينئذ أن أرسطو على خطأ وأن سقوط الأجسام لا يتم بسرعة ثابتة. لقد فهم أنَّ أيَّ جسمٍ يتسارع أثناء السقوط الحر، واقترح قانوناً للتعبير عن هذا التسارع للسقوط الحر للأجسام. كان يقول: إن جسماً يسقط هو في تسارع بحيث أنه عندما يقطع مترين، فإن سرعته تكون ضعف ما هي عليه عندما يقطع متراً واحداً. في الفترة نفسها كان نيكولا أوريزم، أحد أساتذة السوربون الأوائل، يملك إدراكاً أفضل أيضاً. فقد أعلن أن المسافة التي يقطعها جسم ساقط متناسبة مع زمن السقوط مرفوعة للأس الثنائي (أي مربع الزمن).

كان فهم وإدراك أوريزم صحيحاً لأن ذلك كان هو القانون الذي اكتشفه غاليلي لاحقاً. ولكن لا أحد أو لا أحد تقريباً اعتقد به باعتبار أن أفكار أرسطو كانت تشبع تلك الفترة. أن تكون متقدماً كثيراً على عصرك أمرٌ لا يثير إلا المرتابين. وهذا يميز أيضاً مسيرة العلم، مع الأسف. تقريباً وفي الفترة نفسها، توصلت مدرسة أوكسفورد إلى نتيجة أوريزم نفسها وأطلقت عليها استشفافاً للماضي "قاعدة باكون*"، قاعدة تقول: إنَّ جسماً وازناً (ثقلياً) يمر من حالة السكون إلى حالة السقوط الحر، يقطع مسافة تتناسب مع مربع الزمن المنصرم منذ لحظة سقوطه. في القرن السادس عشر تعرض ليوناردو دافنشي الأكبر نفسه للمسألة نفسها وقدم قانوناً معقداً. عمله شاهد على أنه كان يفهم خطأ أرسطو. والمحصلة أنَّ الفضل يعود لغاليلي، لمنهجيته، وبرهانُه التجريبي ما كان قد فهمه أوريزم. وهو فضل ليس بقليل، وإنما يجب التأكيد على أن فكرته لم تخرج من العدم. ودون شك فإن أبحاثاً تاريخية ستبين أن أوريزم كان يتقدم عليه آخرون.

* نسبة إلى اسم روجيه باكون (1220-1292)، فرنسي، أستاذ في أوكسفورد، يطلق عليه لقب "الدكتور العجيب".

الاستنتاج الثاني الذي استمده غاليلي من تجاربه على المستويات المائلة كان تساؤله عن حركة جسم ذي بعدين، هما الارتفاع والطول. لم يكن سقوط الكرة حراً فوق المستوي المائل، بل كان موجهاً بواسطة الأخدود المحفور في الانحدار. ماذا كان يمكن أن يحدث لو أن الحركة أثيرت بدون حامل المستوي المائل، بحركة حرة؟ وما سيكون مسار جسم مقذوف أفقياً. وهكذا لإجراء التجربة، قام بإطالة المستوي المائل بمستوٍ أفقي: باستخدام طاولة. فما أن تصل الكرة إلى الأسفل حتى تتدحرج أفقياً ثم تقع على الأرض متبعة مساراً بشكل قطع مكافئ. بالطبع كان في مخيلة غاليلي اكتشاف مسار قنبلة المدفع (ومستقبلاً، ما يستطيع تأمينه من الأموال لدى العسكريين إذا توصل إلى اكتشاف هام على هذا الصعيد. منذ ذاك الزمن كان البحث مهموماً جداً بتطبيقات عملية!). وهكذا درس بعناية حركة جسم مقذوف في الأفق، وأجهد نفسه لفهم أسباب كون المسار قطعاً مكافئاً. عندها جاءته فكرة تحليل الحركة إلى حركة شاقولية وأخرى أفقية. فكرة حقاً هائلة. إنها كانت المؤسس لما أسمي لاحقاً بالأشعة. تأكد إذاً أن الحركة الأفقية تتميز بسرعة منتظمة في حين أن الحركة الشاقولية تتزايد سرعتها بشكل منتظم ــ كما هي الحال أثناء تجارب السقوط الحر ــ وذلك مهما كانت سرعة الحركة الأفقية (انظر الشكل 2 .1). وهذا التحقق قاد إلى فكرة رائعة باستنتاجاتها. وللعلم، **فإن جسماً مقذوفاً بسرعة بدائية يحافظ على هذه السرعة إذا لم يعرقل حركته أي عائق**. وهذا هو **مبدأ السكونية: إذا لم نطبق أي قوة على جسم في حركة منتظمة، فإنه يبقى في حركة منتظمة، وإذا كان ساكناً يبقى ساكناً.**



شـكل 1.2

نفترض في هذا الشكل الترسيمي، قنبلة مدفع تقذف من قمة برج بسرعات مختلفة فنلاحظ أنه مهما كانت السرعة والمسافة التي تقطعها القنبلة، فإن الزمن المقطوع للوقوع على الأرض هو نفسه. تبين هذه التجربة جيداً استقلالية الحركات الأفقية والشاقولية.

القوة لا تخلق الحركة، إنها تؤدي إلى تغير السرعة. أما أرسطو واليونانيون الآخرون، لنتذكر ذلك، فكانوا يعتقدون أن القوة تخلق الحركة لأننا إذا طبقنا قوة على جسم ساكن فإنه يتحرك. ولكن ذلك يشكل خطأ. مبدئياً: ما هو مهم هو أن جسماً ساكناً يتسارع عندما يبدأ الحركة.

غاليلي ذهب أبعد من ذلك أيضاً، فقد تساءل: ما الذي يجعل الكرة التي تتدحرج أفقياً فوق الطاولة، وتصل طرفها، تتبع مساراً معدلاً على شكل قطع مكافئ؟ إذا كانت السرعة تغير من اتجاهها فهذا يعني أن تسارعاً ما يؤثر عليها، هكذا اعتقد. الواقع، اعتباراً من طرف الطاولة، أنَّ قوة الجاذبية تؤثر عليها، أو يمكنها أن تؤثر عليها بشكل حر، لأن الطاولة لم تعد تشكل حاجزاً مع الأرض. إنه اكتشف، دون أن يعرف ذلك، مبدأً فيزيائياً هاماً، هو الفعل ورد الفعل. واستنتج من ذلك أن قوةً ما يمكنها إما أن تسرع الحركة وإما أن تغير الاتجاه. بالتبادل، إذا أريد تغيير مسار قذيفة فلابد من التأثير عليها بقوة. التسارع هو تغيير في سرعة جسم. وهذا

التسارع يمكن أن يعبر عنه بتغيير في القيمة عندما نطبق القوة في اتجاه السرعة نفسه (وهو المفهوم الشائع عن التسارع عندما نكون في سيارة)، ويمكن أن يكون تغيراً في الاتجاه عندما تصنع القوة زاوية مع اتجاه الحركة (وهو ما نشعر به عند منعطف). نستطيع أن نستنتج من ذلك أننا إذا طبقنا على جسم يتحرك بسرعة منتظمة، قوة عمودية بشكل دائم على مساره، فإن الجسم سوف يتبع مساراً دائرياً، وقد فهم غاليلي ذلك وبرهن على صحته.

سمحت هذه الفكرة لغاليلي أن يفسر حركة المقلاع، حيث نكون هنا بصدد قوة تطبق لتدوير الحجر المقذوف ولكن ما أن ترخي الحجر حتى تتبع الحركة مساراً مستقيماً. لكم هو مدهش وخارق غاليلي! هذا التفكير حول سكون الجسم (يبقى في الحركة إذا كان متحركاً، ويبقى في السكون إذا كان ساكناً)، إلا إذا أثرت عليه قوة، فسيقوده ذلك إلى اكتشاف مبدأ آخر، هو الآخر أيضاً مدهش وسُمّي: نسبية الحركة.

لنفترض أننا على ظهر قارب يبحر بسرعة قصوى، وأن بحاراً يقذف في الهواء جسماً ثقيلاً، فأين سيقع هذا الجسم؟ في البحر، يعتقد البعض، إذا كانت سرعة القارب كافية. الجواب لا فالجسم المقذوف في الهواء سيقع عند قدمي البحار، لماذا؟ لأن كل جسم واقع فوق القارب يمتلك سرعة القارب نفسها. السكونية تلعب دورها هنا جيداً، ولكنه دور بالنسبة للمرجع الأساسي الذي هو القارب. هذا سيقود لاحقاً أنشتاين للقول أنه لا يوجد علام مطلق، وأن كل تجربة لا تقوَّم إلا ضمن إطار مرجعي محدد. التجربة نفسها يمكن إجراؤها الآن في القطار ذي السرعات الكبيرة. فإذا ما قذفت كرة فإنها ستقع بين قدمي القاذف (إلا إذا تسارع القطار في هذه اللحظة). إذاً لقد فهم غاليلي ذلك بالتأكيد، ويبدو أن جيوردانو برينو كان قد فهم ذلك قبله ولكنه، أي غاليلي، هو الذي وضع هذا المبدأ الذي يشكل أحد أساسيات الميكانيك.

نيوتن، العبقري الممقوت

ثم جاء نيوتن. ولد في إنكلترا في عام 1642، عام وفاة غاليلي، سيقول المرقمون: تصادفٌ رمزي (قام الكبال Kabbal – مجموعة يهود قدامى تقليديون – باستخلاص نتائج عميقة من ذلك). كانت أمه أرملة متزوجة، ثم ترمّلت مرةً أخرى، فعهدت به إلى جدته ثم عادت وأخذته وكانت لها معه علاقات معقدة. ولا تتوفر إلا معلومات مبعثرة عن طفولته ومراهقته، ولكن كل شيء يشير إلى أنه لم يكن ذاك التلميذ الاستثنائي. ما هو معروف من مصدر مؤكد، بالمقابل، هو أنه من عمر البلوغ كان قليل اللطافة وعالماً استثنائياً. كتب الكثير عن نيوتن، وكغيري من المراقبين الكثيرين، لم أكن أعبر عن ود وتعاطف مع هذا الإنسان لسببين اثنين، **أولهما:** أنه لم يكن يحترم كثيراً أخلاقيات وأدبيات العلم. وهكذا لم يكن يتردد في اختلاس معاصريه مثل هوك، فلامستيد أو هالي، الذين كانوا مع ذلك معجبين جداً به (ولكنهم كانوا غاضبين من تصرفه). ثم إنه استعار سبل وأساليب التقاليد البريطانية آنذاك ليذل منافسيه، وخاصة المسكين ليبنز. العلميُّ المعاصر الوحيد، الذي نجا قليلاً من أفعاله واختلاساته واغتيابه، هو كريستيان هويغن، وهو هولندي هاجر إلى باريس. ونيوتن، غامض، أناني، مغلق، طموح، رافض للنقاش، محقِّر، لا يُسرُّ إلا في الجدال اللاذع والمجرِّح، غالباً مُراءٍ منافق، لا ينشر و إذا فعل تأخَّر كثيراً. باختصار كان نيوتن على المستوى الشخصي يتصف بكل ما يجب ألا يتصف به علمي. **الثاني:** أنه كان يكره النساء ويحقرهن أيضاً. كان دوماً يجلس بعيداً عنهن متهماً إياهن بالدمى (أو الزانيات)، مدعياً أنه كلما قُدِّم له منهن واحدة فذلك بهدف غير نظيف، فمغازلته واجتذابه يُفتعلان للوصول إلى أسراره العلمية. فقط أمه نجت من تهكمه وسخريته كما يقال. ومع ذلك،

وفي عمر متقدم، عندما كان مديراً للمال فإنه كان يعيش مع امرأة: ابنة أخيه (أو أخته) كان يُقال عنها أنها "كيِّسة" ولطيفة، ومجدة وذكية وحساسة وكانت تعمل لديه حاكمة*. ظاهرياً كان متفاهماً معها، ولكن الحقيقة أنه كان يتصرف معها بطريقة غير لائقة: كان يشجعها على اجتذاب الأقوياء الذين كان بحاجة إليهم للحصول على ترقيات ومواقع مختلفة.

ولكن إذا لم يكن نيوتن شخصية لطيفة فقد كان من كبار المبدعين العلميين في كل الأزمان. الدكتور جيكل والسيد هيد! كل منهما يتفق مع الآخر في أنه إذا كان لتعبير "عبقرية علمية" معنى (وهو ما يجب البرهان عليه) فإنه ينطبق أولاً عليه. أعطى نيوتن، بالواقع، العلم الكثير بحيث يجب علينا أن نتجرد في لحظة ما من الإنسان لكي نتعمق في دراسة مساهماته العلمية بطريقة حيادية. وسوف نتوقف هنا عند إنجازاته في الميكانيك (ونعود إليه لاحقاً بمناسبة هذا التقدم أو ذاك).

الميكانيـــك

عمد نيوتن إلى تحويل تجارب وقوانين غاليلي إلى مبادئ عامة وقوانين شاملة. سوف يؤسس الميكانيك الذي هو عمود الفيزياء. ولكن ما هو عطاؤه الدقيق في الميكانيك؟ إننا مجبرون على القول أنه كان عبقرياً، وسننهي الكلام بنسيان التساؤل حول هذا التأكيد. تعودنا على القول بأنه أسس الميكانيك بالمعنى الحديث للكلمة. كان الأب لهذا العلم بينما كان غاليلي جده. فماذا فعل من أجل هذا؟ إنه تابع اكتشافات غاليلي وطوَّرها وترجمها رياضياً. وهكذا وضع العلاقة الأساسية للميكانيك والتي يمكن التعبير عنها كمايلي: **إن تسارع جسم يتناسب مع القوة المطبقة عليه**

---

* بمعنى خادمة قديماً. المترجم

مقسومة على الكتلة. ويعبر عن ذلك أيضاً بأنه كلما كانت القوة كبيرة زاد التسارع، كلما كانت الكتلة صغيرة كانت المقاومة أقل. وبعد ذلك اكتشف القانون الأساسي، الشـــامل للجاذبيـــة: كتلتان قيمتهما m_1 و m_2 تتجاذبان بقوة تعادل حاصل ضربهما بالتناسب مع عكس مربع المسافة الفاصلة بينهـــما أي: $F= G \frac{m_1 m_2}{R_2}$، صيغة يعرفها كل من درس الفيزياء أو الميكانيك*.

تقول لنا "الأسطورة" أن مسيرة نيوتن سارت في ثلاث مراحل. في مرحلة أولى درس غاليلي وفهمه وأكمل تجاربه وقاس أسلوب تسارع جسم يسقط. هكذا تبين له أن سرعته تتزايد 10 أمتار في الثانية بشكل مســـتمر. إنها قصة التفاحة الشهيرة (التي لم تقدم بالواقع شيئاً لأن أرسطو كان يعلم من قبل أن الأرض تجذب القذيفة). عندها، أكمل نيوتن الخطوة الحاسمة. فما كان غاليلي قد فهمه إدراكاً وإحساساً، قام بصياغته. ما أريد قوله حقيقة هو أنَّه صاغ التعبير الرياضي واكتشف طبيعة هذا المفهوم المألوف لدينا اليوم: التسارع، أي سرعة السرعة. فعندما تضغط على دعسة سيارتك فتزداد سرعتها فإنها تتسارع. كان غاليلي قد تأكد أن السرعة كانت تتزايد خلال سقوط الأجسام. ولكنه لم يفهم تماماً مفهوم سرعة السرعة، فما هو السبب؟ ذكرناه من قبل: لم يكن بتصرفه الأداة الرائعة التي هي الجبر. أما نيوتن فقد غاص في الجبر القادم من العرب الذين ورثوه بدورهم من الهنود عبر فينيسيا ثم إيطاليا. واعتباراً من ذلك راح يكتب: السرعة تساوي المسافة المقطوعة في واحدة الزمن، ثم تابع ليكتب أن التسارع يساوي تزايد السرعة في واحدة الزمن. حول هذه النقطة بالذات أدخل انقطاعاً أساسياً في الفكر العلمي: التقريب الذي نطلق عليه التفاضل. طريقة النهج هذه بدت

---

* m1 ، m2 تعبران عن الكتلتين، R المسافة الفاصلة بينهما، G ثابت الجاذبية.

معقدة لمن يجهل النصوص والرموز، ولكنها بسيطة في مضمونها. لنأخذ مثالاً، أننا نريد الذهاب إلى أورليان (مدينة جنوب باريس وتبعد عنها 100كم) وللقيام بالرحلة نحتاج إلى ساعتين من الزمن، إذا كانت السرعة الوسطية 50كم في الساعة. قد يلزم لقطع العشرين كيلومتراً الأولى ساعة، وساعة أخرى لقطع بقية المسافة البالغة ثمانين كيلومتراً، إذا كانت السرعة 20كم في الساعة في العشرين كيلومتراً الأولى وثمانين كيلومتراً في الساعة في الجزء الثاني من المسافة. ولكن لو تمت المراقبة الدقيقة على طول المسار لتبين أن العشرين كيلومتراً الأولى قد قطعت بسرعات مختلفة حسب أجزاء الطريق المختلفة. 30 دقيقة لقطع الكيلومترات الخمس الأولى(بسبب الازدحام في مخرج باريس)، و30 دقيقة لقطع الخمسة عشر كيلومتراً الأخرى. ومن أجل قطع الثمانين كيلومتراً الأخيرة فسوف يحدث الأمر نفسه بحيث يمكن تقسيم المسار إلى مرحلتين. ويمكن أيضاً تقسيم المسار إلى أجزاء أكثر وهكذا دواليك. وعليه إذا اعتبرنا مسافة قصيرة جداً فإنه يمكن تحديد السرعة الحقيقية الآنية. إنها السرعة التفاضلية*. يمكن أن نجري المحاكمة نفسها بالنسبة للتسارع وحسابه في كل لحظة. وهذا بالضبط ما ابتكره نيوتن. آلية رياضية سنطلق عليها تسمية حساب التفاضل. إنه أسلوب حساب، يستخدم كأداة كل التغيرات الصغيرة لكل المتغيرات.

ولكن دعونا من هذه التطورات التي هي أساسية لمن يريد التغلغل إلى الحقيقة الكاملة، ولكنها ثانوية هنا، كي نركز على مظهر آخر للأمور. فهم نيوتن أيضاً أن القوة والتسارع مفهومان متعادلان تقريباً، أحدهما هو الأساس للآخر. كان أرسطو يعتقد أن القوة تخلق الحركة، أما غاليلي فقد بيَّن أن القوة تغيّر السرعة. ثم أكد نيوتن بوضوح أن القوة تولّد التسارع.

---

* واقعياً هذا هو المفهوم التفاضلي للسرعة الآنية.

وكل ذلك تبعاً لعامل واحد (كان غاليلي لاحظه بالتأكيد): إنه الكتلة. لكن الكتلة ثابتة أو يمكن أن يعبر عنها بالواحدة (عبر اختيار حكيم أو اتفاقي). إذاً القوة هي التسارع لواحدة الكتلة. نيوتن ميَّز بين السبب (الفعل) والمسبب. القوة تخلق التسارع، القوة يعبر عنها بالتسارع، إذاً القوة هي التسارع (بعامل يعادل الكتلة تقريباً) وصاغ العلاقة التي ستجعله خالداً: $F = m.a$ **أي القوة** (F) **تعادل التسارع** (a) **مضروباً بالكتلة** (m). اهتم، فيما بعد، بحركة القمر مع إدراك مسبق: القمر يدور حول الأرض لأن هذه الأخيرة تمارس عليه قوة جذب من نوع الجاذبية. وفتش عن كيفية حساب هذه القوة. كان كريستيان هويغن، وهو هولندي مهاجر إلى فرنسا، رجلاً استثنائياً إذا أردنا أن ننصفه، أناقته الأخلاقية لا تقل عن قدراته العلمية، قد وضع فرضية رياضية حول الأجسام الدوارة. بما أن هذه الأجسام تخضع للقوى النابذة (الطاردة) التي تسعى لإبعادها عن المسار الدائري، لتستمر في الدوران، فيجب أن تخضع لقوة تشدها بشكل مستمر نحو المركز. قم بالتجربة وحدك: للإبقاء على جسم في الدوران حولك يجب أن تشد بشكل دائم على الخيط. فما أن ترخي هذا الخيط حتى يبتعد عنك الجسم أكثر. هذا هو مبدأ المقلاع (أو قذف المطرقة في ألعاب القوى). لكن هويغن وضع العلاقة الرياضية بين السرعة التي يدور بها جسم وقيمة هذه القوة. وبمعرفة إحداها يمكن حساب الأخرى*. استخدم نيوتن هذه الخاصية. كان يعرف مدة دوران القمر حول الأرض. ولم يكن يشك في أن هذا الدوران محكوم بالجذب الذي تمارسه الأرض على القمر. وهكذا وضح فرضية أساسية، وللعلم فهي، أن قيمة الجذب الذي تمارسه الأرض على جسم خارجي يمكن

---

* $F = m\dfrac{V^2}{R}$، وباعتبار علاقة نيوتن $F= m . a$ فيكون $a = \dfrac{V^2}{R}$، (حيث R نصف القطر، V السرعة). لنلاحظ أن الكتلة لا تتدخل.

أن يعبر عنه بطريقة بسيطة. فهو لا يحتاج البتة إلى حساب الجذب الذي يمارسه كل جزء من الأرض على كل جزء من القمر. بل تكفي دراسة جذب الكوكبين والمتمثلة بالكتلة الكلية لكل منهما، المتمركزة في مركزيهما، وتطبيق قانون التجاذب الشامل (وهي فرضية تبدو رائعة ولكنها تبرهن بدقة شديدة). وهكذا قام بحساب قوة التجاذب للأرض والقمر باستخدام صيغة هويغن (والتي قام بإعادة البرهنة عليها). ثم قارن النتيجة التي حصل عليها مع تلك التي ترتبط بالتفاحة التي تسقط من الشجرة. حسب وقاس ثم أعاد الحساب... وياللكارثة وجد أن التسارع (المحسوب اعتماداً على صيغته الشهيرة للتسارع = $\frac{\text{القوة}}{\text{الكتلة}}$)، هو0.0027 متراً مربعاً في الثانية في حين أن التسارع الثقلي على الأرض هو 10 أمتار في الثانية مرفوعة للأس 2 (ثا^2). إذاً القوة التي تمارسها الأرض على القمر هي 3700 مرة أضعف من تلك القوة التي تمارسها الأرض على التفاحة. وهذا ليس بفرق قليل، فلم يفهم ذلك وأخذ يفتش. وهكذا أدخل الكتلة. فالقمر له كتلة أكبر بكثير من التفاحة. هذا صحيح ولكن يجب أن يكون الأمر معكوساً. جاءته فكرة: لماذا لا ندخل المسافة؟ في هذه اللحظة قدم قانونه الثاني: **إن قوة التجاذب التي تمارس بين جسمين تتناسب عكساً مع مربع المسافة التي تفصل بينهما.** فالمسافة بين الأرض والقمر هي 60 مرة نصف قطر الأرض، إذاً $(60)^2=3600$. هذا هو تقريباً عامل الاختلاف الذي كان يفتش عنه، فرأى بالنتيجة، أن هذا القانون صحيح. ولكن كيف جاءته هذه الفكرة؟ على ما يبدو- وهنا مرة أخرى، الأسطورة تخبرنا - بالمحاكمة قياساً مع الضوء. فإذا وضعنا شمعة في مركز حجرة، فإن الضوء الواقع على واحدة السطح الذي يقع على بعد متر واحد منها هو أربع مرات أكبر من الضوء الواقع على بعد أربعة أمتار. وتسع مرات أكبر من الضوء الواقع على بعد ثلاثة

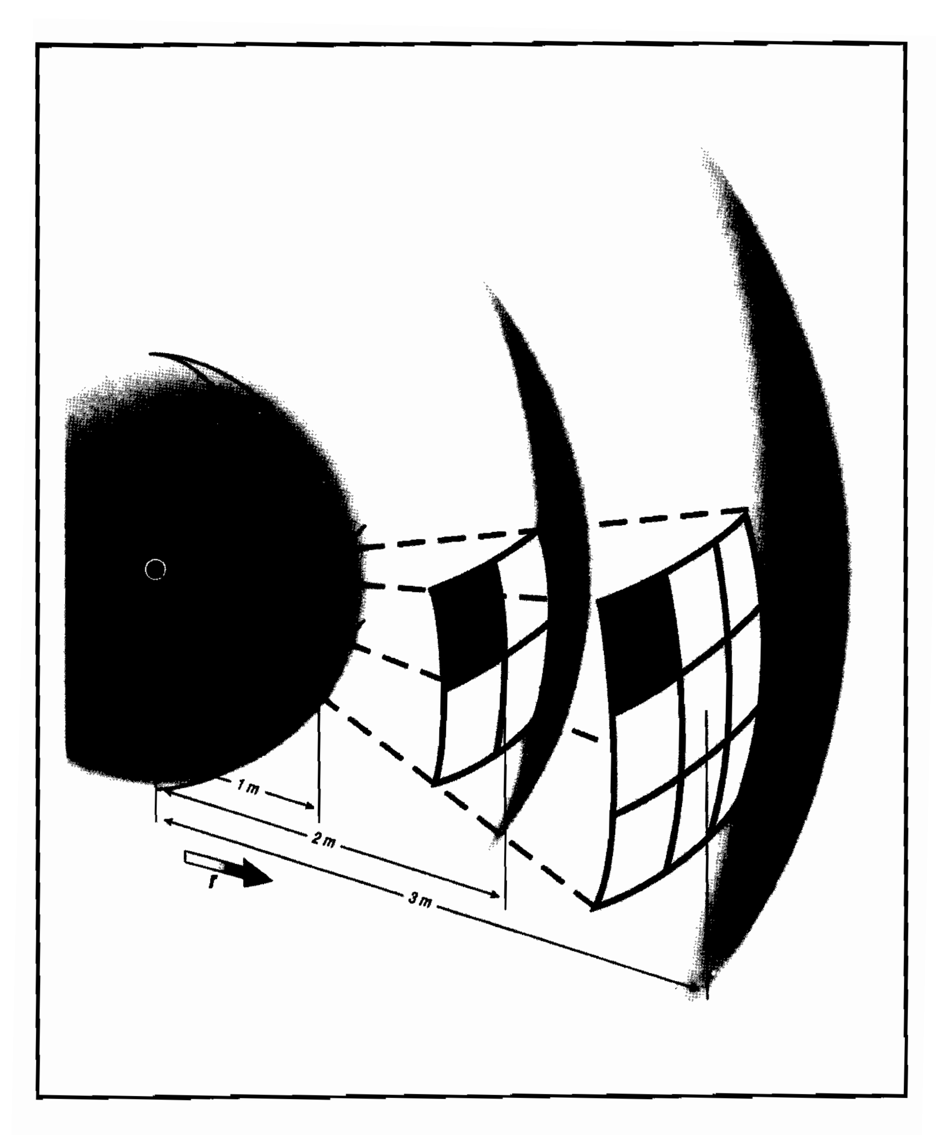
أمتار... إلخ. كلما زاد نصف قطر كرة التأثير، ضعفت شدة الضوء لأنها تتوزع على سطح يكبر باطّراد (انظر الشكل 2.2)*.

هذا على الأقل ما سيرويه نيوتن لاحقاً عن اكتشافه هذا. عقول أكثر تيقظاً للحقيقة، أو أكثر إيذاء، سيئة النية، ستجعلنا نلاحظ أن فكرة مقلوب مربع المسافة قد قدمها أولاً هوك ولكن نيوتن لم يعتقد بذلك. هو العبقري والآخرون غير موجودين. ومن أجل هذا بدا غبياً إزاء هوك طيلة حياتـــه.

مهما يكن من أمر فإن نيوتن قد وضع أساس الميكانيك. لقد حسب، بالواقع، القوانين التي تحكم حركات الكواكب حول الشمس والتي اكتشفها كبلر في عام 1610 (سنعود إليها في الفصل 4).

ما أروع ما أوجده نيوتن، باستخدام قوانين هذا الميكانيك التي أسسها للتو! قوانين كبلر. بالطبع كانت الملاحظة قد سبقت التفسير ولكن تفسير نيوتن أعطى ترابطاً رائعاً وأناقة للكل. المدارات الإهليلجية (البيضوية) للكواكب وسرعاتها بالنسبة لبعدها عن الشمس وزمن دورة كل منها، كل هذا حسبه وبرهن عليه كله رياضياً. نظريته هذه اعتمدتها مملكة كبلر وقدمت له الأساس النظري الذي كان ينقصه. ولهذا استخدم بشكل مؤكد الحساب التفاضلي الشهير الذي سيتنازع لاحقاً على مرجعيته مع ليبنز، ولكن هذه قصة أخرى!. فباستدارة عجيبة قام بالربط بين القضيتين الكبيرتين اللتين شغلتا غاليلي: سقوط الأجسام وحركة الكواكب، تقارب لم

* الثابت دوماً هو حاصل ضرب الشدة الضوئية فوق كل وحدة صغيرة من سطح الكرة بسطح الكرة، الذي كما نعلم، يزداد مثل مربع نصف قطرها. وهذا الناتج، ما هو إلا الشدة الكلية التي تبثها الشمعة. هذه هي الكمية الفيزيائية التي تحفظ. في حالة الثقالة، فإن كتلة الجسم الواقع في مركز الكرة هي التي تحفظ، وهي التي تلعب دور الشدة بالنسبة للشمعة.



شـــكل 2.2

لنفترض منبعاً ضوئياً ولنقطع منه حزمة ضوئية: على بعد متر واحد يقطع جزء من الكرة، على بعد مترين يصبح السطح المتشكل بفعل الحزمة أكبر بأربع مرات، أي أن الشدة الضوئية للحزمة الضوئية أقل بأربع مرات. (بافتراض أنها لا تخسر شيئاً في الطريق). على بعد ثلاثة أمتار، وبالاعتماد على المحاكمة نفسها، فإن الشدة الضوئية تكون مقسومة على 9. لنلاحظ أن $4 = 2^2$، $9 = 3^2$. بالطبع هذا قانون عكس مربع المسافة.

يستطِع القيام به غاليلي (وحتى لم يحاول ذلك). كان غاليلي فيزيائياً ثم فلكياً، أما نيوتن فقد قارب بين العلمين وبيَّن أن سقوط الأجسام وحركة الكواكب مظهران للقوة الفيزيائية نفسها: قوة الجاذبية. غالباً ما يتقدم العلم بالتقارب بين مفاهيم متباعدة بتوحيدها في نظرية أكثر شمولية. هذه قاعدة أساسية للتقدم العلمي.

القوة عن بعد

ولكن نيوتن ليس راضياً كما يجب، فهو لم يفهم كيف تؤثر هذه القوة عن بعد، وبأية وسيلة تجذب كتلة ما كتلة أخرى؟ كيف يمكن للشمس "تساءل" وأنا هنا أن تجذبني؟ بالتأكيد نيوتن لم يفهم ذلك. لقد صاغ مايلي*: "أن يستطيع جسم التأثير عن بعد على آخر في الفراغ دون معرفة الوسيلة التي يتم بها انتقال القوة، هو، بالنسبة لي لا معقولية كبيرة بحيث لا يستطيع أيٌّ مقتدر في الفلسفة أن يقبل بها مطلقاً". فرنسيو الأكاديمية الملكية للعلوم رفضوا بالمطلق نظرية نيوتن التي رأوها مستحيلة. إذا كانت نظرية نيوتن صحيحة فإن النجوم سوف تتجمع كلها حول الشمس، هكذا قالوا. لقد فضلوا عليه ديكارت ونظريته عن التيارات، الواقعية والمحسوسة والملموسة. ثم توجب الانتظار لقرن آخر لكي يقبل الفرنسيون التأثير عن بُعد.

باختصار نيوتن لم يكن يفهم، والفرنسيون خلف هويغن وفونتونل وغاسيني، كانوا ضد الفكرة، أما بالنسبة لنا فلم نفهم جوهر أساس الأشياء!. ومع ذلك فإن التأثير عن بعد يسمح بتفسير الملاحظات، باختصار "هذا صحيح" ويجب أن نعتاده... الفيزياء، ليست بالتأكيد دوماً الطريق السليم كما نعتقده غالباً، ولكن غالباً العكس قد يكون هو الطريق السليم. وبالرغم من

* انظر مراسلات اسحق نيوتن، مجلد 3، ص253، الناشر هـ.ف.تورنبيل، مطبعة جامعة كامبريدج 1977.

ذلك فحقيقة ألا ندرك جيداً يجب ألاَّ تمنعنا من تطبيق القواعد، والمحاكمة والقيام بحسابات... التي يقع على عاتق التجارب أن تدققها. لكي تجيد طبخة يكفي أحياناً أن تتبع الوصفة (طريقة التحضير)، وهي قضية غير هامة لفهم أساس التفاعلات الكيميائية التي تتم في القدر. ولكن إذا كانت الفيزياء قابلة للتطبيق فهل هي قادرة على إعلامنا أين تختبئ الحقيقة الكامنة في العمق؟ لنأخذ مثالاً لتوضيح هذه النقطة: مقلوب مربع المسافة هو قانون يعبر عن أثر يتناقص سريعاً جداً عندما تزداد هذه المسافة. وهكذا إذا زادت المسافة بمقدار 1، 2، 3، 4، 10، فإن الحد $\frac{1}{r^2}$ يتغير بمقدار 1، 0.25، 0.11، 0.0625، 0.01. إذاً هذا صحيح، قوة الجاذبية تقل كثيراً جداً مع المسافة.

ولكن ما هي طبيعة هذه القوة؟ وهناك حدث آخر سوف يشوش الفيزيائيين. عندما تتناقص المسافة بين جسمين، فإن القيمة $\frac{1}{r^2}$ تصبح كبيرة جداً سريعاً ــ بل حتى سريعاً جداً جداً جداً. وهكذا إذاً تناقصت المسافة بحسب 1، $\frac{1}{2}$، $\frac{1}{10}$، $\frac{1}{100}$، فإن القانون يتغير بحسب 1، 4، 100، 10000. كيف سينتهي ذلك عندما r=0؟ رياضياً التقسيم على 0 يساوي اللانهاية، ولكن ما معنى قوة لانهائية؟ هذا ليس له معنى! هذه الأسئلة تبين أننا في الفيزياء غالباً ما نعاني من سوء فهم الأسباب النهائية والباطنية. نضع قوانين ونطبقها ونتوصل إلى نتائج جديدة، نتقدم، ولكن في العمق ليس من الضروري أن نفهم الطبيعة المخبأة للأشياء بشكل أفضل. هذه حقيقة مخيبة دون شك ولكن هكذا هي الحال. لكن ذلك لا يضعف من فاعلية القوانين موضوع الحديث. دعونا نستخلص النتائج، فكل ما تحدثت به من قول ليس سلبياً البتة. أكثر من أن الفيزياء علم عملياتي وليس تجريدياً – ميتافيزيقياً – (وأنه بالرغم من جهود البعض يجب أن يبقى هكذا).

الفيزيائيون هم علميون مسلحون بحس تطبيقي صلب. فبالرغم من الأسئلة المثارة عن الفعل عن بُعد وعن قانون نيوتن، فقد استمروا في تطبيق هذه القوانين وإنجاز اكتشافات رائعة. هنا سنرى الرياضيين يمتطون الميكانيك ويسلحونه بأشكال رائعة من اللباقة والفاعلية. شارك في هذه التطورات أسماء مثل هاميلتون، لاغرانج، لابلاس والبعض الآخر. سنرى أن هذا العلم سيصبح متكاملاً لدرجة أن لابلاس (أحد العلماء المفضلين عند نابليون)، سيستطيع التأكيد على مايلي: "أعطني وضع جملة لجسمين في لحظة ما محددة (كتلة، سرعة، مكان)، فأستطيعَ أن أحسب لك تاريخه الماضي وأيضاً مستقبله". فحركة الكواكب هي مصنع للزمن يمكن حسابه كاملاً. وعندما كان نابليون، المعجب بمحاضراته وطروحاته، يقول له: "وماذا تجعل أنت من الله في كل هذا؟"، كان يجيبه لابلاس بتفاخر: "يا صاحب الجلالة أنا لست بحاجة لهذه الفرضية!" لكن مساهمات هؤلاء الميكانيكيين الكبار لن تقتصر على مفاهيم نيوتن الرياضية، فهاهم يدخلون مفاهيم جديدة، مثل الطاقة، التي سوف نلقي الضوء عليها بتفصيلات أكثر، كمية الحركة التي هي حاصل ضرب الكتلة بالسرعة، وهذه المقادير تكون محفوظة في بعض الشروط، كما فهم ذلك هويغن.

وهكذا عندما يطلق أحدنا عياراً بالمسدس، فإن ارتداد السلاح ناجم عن انطلاق الرصاصة التي تحمل معها كمية من الحركة، كمية تعدل بسرعة ارتداد المسدس (وهي أقل لأن الكتلة أكبر). ثم سحبت هذه المبادئ على الأجسام الصلبة في حالة الدوران، أي على الكواكب، وأخيراً على السوائل، مفسرين في الوقت نفسه حركية السوائل في السكون وفي الحركة، فأسس ذلك لإيجاد علم جديد هو ميكانيك السوائل، الذي برع فيه علميون

ربما كانوا يستحقون أن نفرد لهم فصلاً من هذا الكتاب، ومن بين الأسماء: باسكال، نافييه، ستوك، كوريوليس... إلخ. دعونا لا ندخل في تفاصيل هذه الأعمال المشوقة ولكن المعقدة، ولنقتصر على الإشارة هنا إلى أن نيوتن هو الذي جعلها ممكنة. ولكن إذا كان كل هذا مفيداً ونافعاً في القرن الثامن عشر، فلماذا نعلِّم هذه المبادئ اليوم؟ ألا يعود ذلك إلى صلب وأساس الفيزياء القديمة؟

الواقع كلا. فالجاذبية وسقوط الأجسام أمور عصرية جداً وأساسية جداً. عصرية على المستوى النظري، لأننا لا نفهم دوماً ميكانيكية القوة عن بعد للجاذبية، والفيزيائيون يتتبعون اليوم حقيقة موجات الجاذبية، التي تُماثِل موجات ماكسويل الإلكترومغناطيسية (التي سنتحدث عنها لاحقاً)، في أنها تنتشر بسرعة الضوء كما شرحها أنشتاين في نظريته النسبية. إنهم يفتشون عنها في الظواهر الفلكية (حيث يعتقدون أنهم وجدوها). ويفتشون عنها على الأرض، بإقامة تجارب ضوئية عملاقة (نعم ضوئية، وسنرى لاحقاً لماذا ذلك)، استثنائية مثل مشروع فيرغو Virgo بين فرنسا وإيطاليا، والمنفذ بالقرب من بيزا. عصرية على المستوى التقني أيضاً لأن الجاذبية هي كل المغامرة الفضائية للأقمار الصنعية بمهمة استكشاف أرضية.

أقمار صنعية ومجسات كواكبية

ما نسميه الآن عولمة نجد أصوله، بنسبة كبيرة في بناء الأقمار الصنعية. إنها أقمار الاتصالات التي سمحت بنقل المعلومات على مستوى الكرة الأرضية بشكل عملي وآني. فزلزال أرضي يحدث في أندونيسيا تبث صوره في مساء اليوم نفسه على كل شاشات تلفاز العالَم. وإذا ما تحرك الفاعلون في أسواق الصرف على مستوى كوكب الأرض بكامله في هذا الوقت، فلأن تحويل رؤوس الأموال أصبح آنياً. نعم لاشك في ذلك البتة:

فالعولمة نتيجة للثورة الفضائية. الصور المأخوذة من الفضاء، التي بفضلها للمرة الأولى، نستطيع رؤية القارات، البحار، والسلاسل الجبلية بشكل مغاير لما نراه ممثَّل على الخرائط، ساهمت كلها نفسياً في تدعيم فكرة العولمة. لكن الأقمار الصنعية هي تطبيق مباشر لاكتشافات غاليلي، هويغن ونيوتن. كم هي رائعة هذه المهمات الفضائية التي سمحت باكتشاف وتصوير ومعرفة منظومتنا الشمسية! وكم هو رائع التفكير بهذه الرحلات إلى القمر حاملة معها رجال فضاء، وبهذه المهمات إلى زحل والمشتري حيث حطت أجهزة أوتوماتيكية، وبهذه الرحلات الرائعة، فوياجير Voyager، التي امتدت على مدى خمسة وعشرين عاماً والتي تجاوزت مجساتها الآن المجال الشمسي، لتنطلق نحو سبر أغوار عوالم جديدة غير مكتشفة..! الفضاء هو بالتأكيد حلم أصبح حقيقة، ولكن الفضاء هو أيضاً وقبل كل شيء تطبيق قوانين الميكانيك.

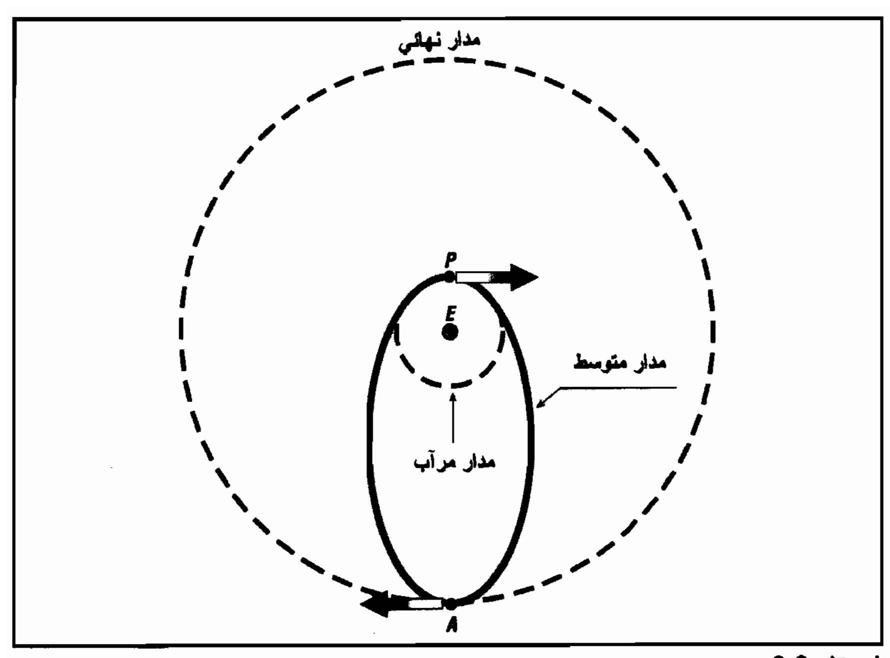
كيف يمكن إطلاق قمر صنعي ووضعه في مداره؟ يجب إيصاله إلى ارتفاع ما باستخدام صاروخ، ثم يجب دفعه بسرعة موازية لسطح الأرض في الارتفاع المختار. من هنا، إذا كانت السرعة ملائمة، فإن الجذب الثقالي للأرض، سيمارس على السائل (القمر الصنعي) قوة تثبته في مداره حول كوكبنا. هنا نطرح عدة أسئلة تكمن حلولها النظرية في قواعد الميكانيك. أيحتاج الأمر إلى مدار دائري أم إلى مدار بيضوي؟ نعلم منذ نيوتن وتفسيره لكبلر، أنه في غياب عوامل الأمان المتعلقة بالسرعة، فإن المدار سيكون إهليلجياً. عندما يكون المدار دائرياً، كما هي حالة القمر الذي يدور حول الأرض، فإنه يبرهن على أن السرعة عند الإطلاق (مرفوعة للأس التربيعي) متناسبة مع كتلة الأرض مقسومة على نصف القطر. بمعنى أنه كلما كانت السرعة الموازية للأرض والمدفوع بها السائل كبيرة، كان مداره منخفضاً. وإذا لم تكن السرعة كبيرة، فعندها بكل بساطة سيقع السائل على

الأرض وهذا ما يحصل عندما يكون الساتل في مدار منخفض، لأنه بالاحتكاك مع هواء الأتموسفير فإن سرعته تنخفض وينتهي به الأمر للسقوط على الأرض تدريجياً. وعليه فإن ساتلاً على ارتفاع منخفض له مدة حياة محدودة. ومع ذلك فلابد من منحه سرعة بدائية عالية. هذا يكلف غالياً. نعم ولكن بفضله يتم تصوير وملاحظة الأرض بدقة وعناية كبيرتين (وهذا يعجب كثيراً العسكريين). وماذا عن المدارات المرتفعة؟ ليس مبدأ وضع قمر صنعي في مدارٍ عالٍ هو تماماً نفسه، حيث يُجْهد لتقليل نفقات الوقود باستخدام قوة الجاذبية الأرضية. وهكذا فإن المهندسين لا يوفرون حيلة من خلال توظيف قوانين نيوتن لصالح ذلك. يتم أولاً إطلاق القمر الصنعي إلى مدار دائري منخفض، وهو مدار مؤقت ولهذا يعرف بالمدار – المرآب Orbite-parking. ثم يوضع القمر الصنعي في مدار إهليلجي، متطاول جداً يصل إلى ارتفاع المدار الدائري المرغوب. يدعى هذا المدار الإهليلجي مَدارَ الترحيل، ثم من الارتفاع المراد، يحرر صاروخ يقوم، بالتأثير بشكل موازٍ للأرض، بدفع الساتل إلى مداره الدائري النهائي (انظر شكل 3.2). كل هذه المناورات تستمد مضمونها من قوانين الميكانيك، من الجذب الثقالي الأرضي ولكن أيضاً من التعديلات في الاتجاه التي يتم الحصول عليها تحت تأثير التسارع الموجه بتحكم دقيق.

بالطبع، نتبين سريعاً أنه بإطلاق قمر صنعي إلى ارتفاع 35900 كم عن الأرض، فإن سرعته تصل إلى 3.07 كيلومتر في الثانية، وأنه بهذه السرعة وعلى هذا الارتفاع فإن الساتل ينجز الدوران حول الأرض خلال أربع وعشرين ساعة*. الواقع أنَّ هذا الزمن، أربع وعشرون ساعة، هو

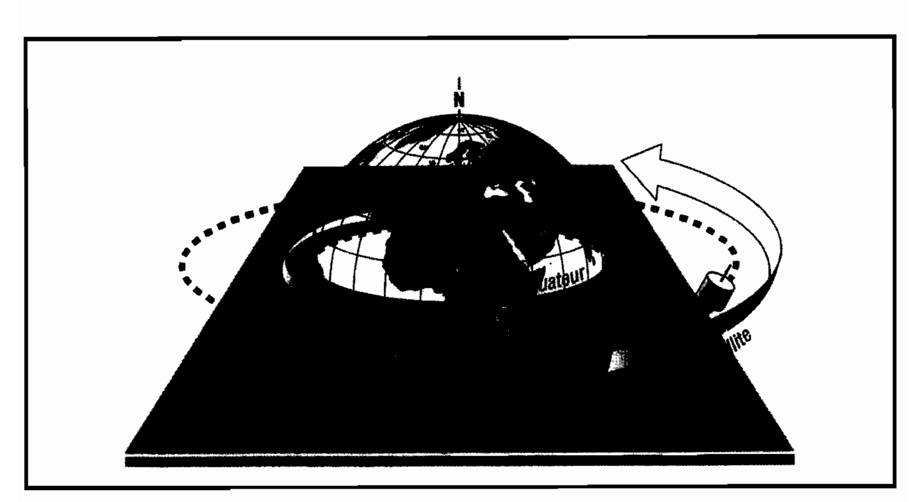
---

* باستخدام الصيغة $g = \frac{V_2}{R}$ يمكن أن نتمتع بتدقيقه فوراً حيث V = RW و W = دورة واحدة / الدور T.



شـــكل 3.2

مبدأ إطلاق القمر الصنعي إلى مدارٍ عالٍ. يطلق الساتِل أولاً إلى مدار – مرآب، وبعد عدة دورات يوضع الساتل في مدارٍ إهليلجي. وأخيراً عندما يكون في إحدى نهايات الإهليلج، بفضل تحريض دفعي، يستقر في مداره.



شـــكل 4.2

مبدأ القمر الصنعي الأرضي المرابط – الذي يدور بالسرعة نفسها كما هي سرعة الأرض ويبقى ثابتاً بالنسبة لها.

زمن دورة للأرض. وعليه فإن الساتل سيُرى في المكان نفسه من الأرض إذا كان موضوعاً في مدار استوائي (انظر شكل 4.2). هذا ما ندعوه ساتلاً أرضياً مرابطاً Satellite géostationnaire (قاعدة الأقمار الصنعية للاتصالات).

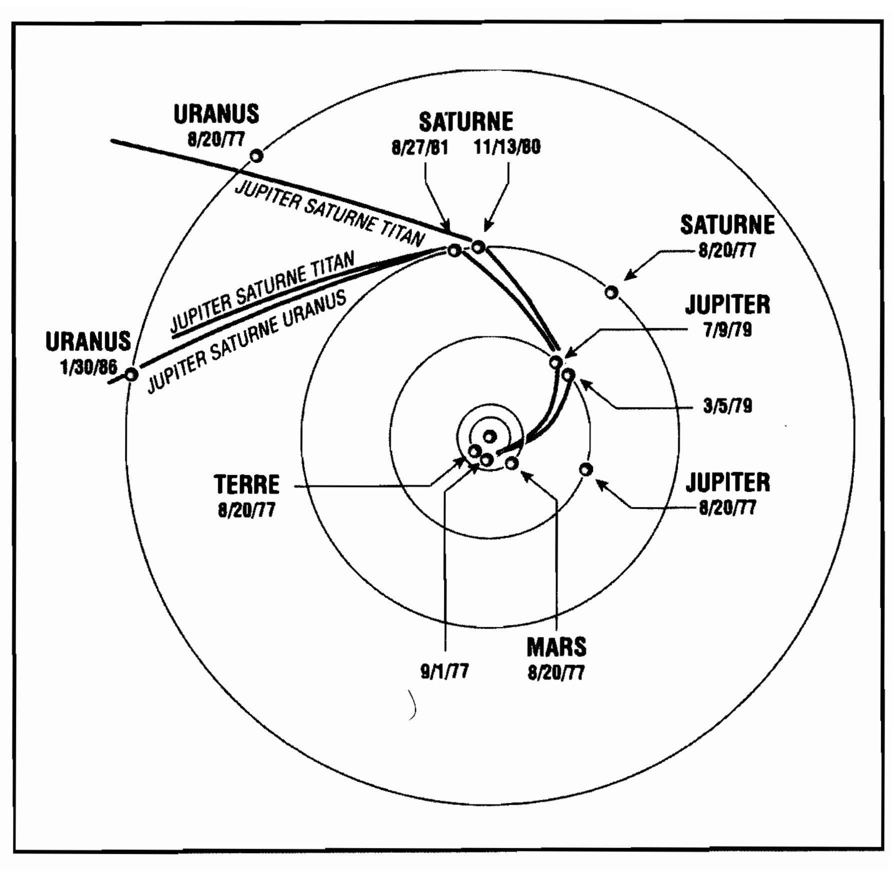
هكذا أضاءت قوانين الميكانيك لنا بعضاً من أسرار الفضاء. كل منا شاهد رجال فضاء يخضعون لنظام انعدام الوزن. وتم الحديث بكثرة عن حرب النجوم، أي إقامة شبكة من الأقمار الصنعية تشكل أساساً منيعاً لحماية أمريكا. وهذا بحد ذاته هدف غير ممكن التحقيـق علميـاً وتقنيـاً ولكنه ليس موضوع حديثنا هذا. وبمناسبة هذا المشروع فإن مناقشات شتى حركت الدوائر السياسية التي كانت تسعى لتحديد النظام الأفضل. البعض انجذب لفكرة وضع خفير في قمر صنعي يحمي البلاد. آخرون فضلوا تدمير أي بلد عدو من الفضاء. بل إن البعض ذهب إلى أبعد من ذلك وأثار فكرة أن يقوم رجل فضاء، من قمره، بإطلاق قنبلة إلى الأرض والأفضل أن يطلقها ليلاً. فكرة مستحيلة فيزيائياً بفضل مبادئ النسبية والسكونية. لأننا إذا ما قذفنا بجسم خارج ساتل، فإنه سوف يتبع الساتل ويدور معه حول الأرض لأن الجسم ستكون له السرعة نفسها التي للساتل بالنسبة للأرض. وأوجه عناية القارئ حول هذه النقطة، إلى ما ذكرته من قبلُ بمناسبة الحديث عن إطلاق جسم شاقولياً من على سطح قارب! كما كان لي قديماً مناقشة مفيدة جداً (مبهجة بالنسبة لي) مع الرئيس ميتران بهذا الخصوص.

ومن أجل استكشاف الكواكب، ما الذي يجب فعله؟ يمكن التفكير بأن الجذب الأرضي سيمنع كل صاروخ من الانفلات من الفضاء حول الأرض. وعليه يجب أن نكون قادرين على دفعه بسرعة شاقولية أعلى من 11 كيلومتراً في الثانية، وهي التي نطلق عليها سرعة التجاذب الأرضية (أو

التحرر). ولكنْ هنا أيضاً، فإن إطلاق هذا الصاروخ نحو كوكب آخر لا ينفذ بشكل مباشر. تستخدم هنا على أحسن حال، هذه القوة الرائعة التي هي الجاذبية الأرضية. عموماً يُبدأ بوضع الصاروخ في مدار حول الأرض. أي في المدار- المرآب، والذي تحدثنا عنه سابقاً. ثم نغتنم فرصة ملاءمة الحركات النسبية للكواكب لإخراج القمر من الجذب الأرضي. عندما يصل إلى الكوكب المراد استكشافه، إما بتقريبه منه دون تخفيف سرعته كثيراً – السابرة (المجس) سيقترب من الكوكب دون توقف السائل–، وإما بوضعه في مدار دائري (أو بيضوي) حول الكوكب. أخيراً إذا كان هذا هو الهدف من المهمة، فإننا نواجه إنزالاً لأداة المقياس (Module) على الكوكب، ثم بعد إنجاز عمله، نقوم من الأرض برفعه وإعادته إلى المدار ليلتحم بصاروخ بانتظار أن يعيده إلى الحركة عائداً إلى الأرض. نستطيع في النهاية استخدام كوكب، أو بالأحرى جاذبيته لإطلاق، بطريقة المقلاع، مجس أرضي نحو كوكب ثالث.

الدهاء في كل هذا يكمن باستخدام حركة الكواكب، والاقترانات الشهيرة لتقليل استهلاك الطاقة. ولهذا يوجد ما نسميه "نوافذ الإطلاق" أي أوقات ملائمة لإطلاق مجس إلى هذا الكوكب أو ذاك. إنها الاقترانات نفسها التي فتنت بتولومي، كوبرنيك، تيكوبراه وآخرين كبلريين، والتي فسرها بوضوح كبير نيوتن. تكمن هنا خزينة من الدهاء مدعومة بقدرة الحواسيب الضرورية لمثل هذه الاستكشافات الفضائية والتي مفتاحها الأساسي، من الناحية الميكانيكية، رحلةُ فوياجير (انظر شكل 5.2) التي مثلت خمساً وعشرين سنة من المعلومات المستمرة.

كل هذا جميل ولكن سيقال: المهم مع ذلك هو الاستكشاف الفضائي، إنها الصواريخ، مسرح كورو أو قاعدة كيندي، إنها الإقلاعات الآسرة



شـــكل 5.2

مسار المجس فوياجير الذي أطلق عام 1977 وخرج من المجموعة الشمسية عام 2002. في كل التحام مع كوكب كان المجس يوضع في المدار بحيث يتبع الكوكب ويصوره ويدرسه ثم ينتقل إلى التالي. من أجل تقليل الطاقة والوقود كان ينتظر في كل مرة أن يكون الاقتران التالي ملائماً.

للصواريخ التي تخيلها جيداً هيرجي. الصواريخ لا تخص الميكانيك*، إنها تخص الكيمياء مثل الألعاب النارية! بالتأكيد لا، لأن ذلك يخص أولاً الميكانيك. إنها بالذات التطبيقات المباشرة للمبدأ الشهير لحفظ كمية الحركة. مبدأ ليس مفهوماً جيداً حتى الآن. عندما اقترح روبرت غودار، المهندس

* لم لا؟ أليست ابتكارات الكيميائي ضرورية لتوليد التفاعلات والطاقة التي سيستخدمها الميكانيكي؟

الأمريكي، في عام 1919، بناء صاروخ للوصول إلى الارتفاعات العالية، نشرت مجلة نيويورك تايمز New york times على صفحتها الأولى مقالاً يشرح أن أفكاره تعاكس القوانين الفيزيائية وأن الصاروخ لن يستطيع الارتفاع فوق الأتموسفير، باعتبار أنه لم يكن باستطاعته الاستناد إلى شيء وسوف يحـــول الفراغ دون دفعـــه.

هذا الصحفي (ومستشاروه) لم يفهموا شيئاً عن مبدأ الصاروخ. لأن الصاروخ، تطبيق مباشر للمبدأ الذي يقول: الكتلة مضروبة بالسرعة (كمية الحركة) تحفظ في جملة معزولة. إن صاروخاً يطرد غازاً بسرعة كبيرة، بل يطرد كميات كبيرة من الغاز، يولد بهذا الطرد بالمقابل سرعة للصاروخ في الاتجاه المعاكس (كما أن طرد رصاصة يحدث ارتداداً للبندقية أو المسدس). وهذا المبدأ يطبق على الصاروخ موضعياً في كل لحظة بفضل مبدأ النسبية الحركية لغاليلي: وهكذا فإن تزايد ســـرعة الصاروخ تتراكم، محدثة تسارعاً، والهواء ليس له علاقة بكل هذا. ولأجل الاستفادة من هذا المبدأ زُوِّدَت الصواريخ بعدة طوابق تُحَمَّل عند الإطلاق بكثير من المواد المحترقة، ولكنها ما أن تحرق حتى تُفَرغ من محتواها، للتخفيف وفي الوقت نفسه لزيادة السرعة "الدفع" نفسها (إذا كان المقدار $v \times m$ = ثابتاً، فإن v تزداد إذا نقصت m). ولهذا تكون للصواريخ عادة ثلاثة طوابق، كل منها يتوافق مع مرحلة من التخفيف وبالتالي التسارع.

كيف يشك أن المغامرة الفضائية هي، حقيقة، واحدة من أجمل الأمثلة الإيضاحية لميكانيك نيوتن؟

ﻫ ﮦ

3

الضـــوء

ما هو الضوء وما الذي يفعله؟ على مدى زمن طويل اعتُبر الضوء كرسول من الآلهة "ترسل لنا السماء، حيث توجد الآلهة، إشارات ضوئية تسمح لنا أن نرى ممَّ الكون مصنوع؟ الشمس تضيئنا، تدفئنا، توقت فصولنا وحصادنا ولذا لابد أنها من أدوات الله لمساعدة الأرض". إن موضوع الربط "الواضح" بين الضوء والله ثابت في جميع كُتبُ القرون الوسطى، كتلك العائدة لجورج دوبي ولجاك لوغوف. وهكذا فإن دراسة الضوء كانت تهدف إلى التقرب من الله.

تم باكراً إدراك بعض المفاهيم الأساسية. فمفهوم الشعاع الضوئي كان معروفاً على الأغلب في السامراء Sumer، والامبراطورية المصرية القديمة. إن شقَّ باب ليمر عبره شعاع، واختراق الشمس الغيوم بعد عاصفة، ونفاذها إلى غرفة غارقة في الظلمة كافيان للإقناع بمفهوم الشعاع هذا. اعتباراً من هذه الملاحظات بدا الاعتقاد بأن الضوء يتقدم، وينتشر حسب خطوط مستقيمة، تبعاً لنظرية الأشعة الضوئية، وهذه فكرة طبيعية جداً. العنصر الثاني الذي أدركه القدماء هو العلاقة المزدوجة الموجودة بين الضوء والنار. النار تبث الضوء، ولكن يمكن لقبضة من الأوراق الجافة في وهَج الشمس صيفاً أن تشتعل تلقائياً. باختصار إن الشمس تستطيع التسخين – وحتى أنها تسخن بشدة. في القرن الثامن عشر، كانوا يعرّفون الضوء بقولهم: "الضوء هو النار الأكثر نقاء".

الفكرة التي تشكل أساساً لهذه المحاكمات تكمن في أن الضوء والنار حقيقتان للظاهرة نفسها التي تبدو أحياناً تحت هذا الشكل، وأحياناً تحت شكل آخر، وأحدهما يمكن أن يتحول إلى الآخر. وسنسمي هذا لاحقاً الطاقة. بالنسبة لكل منا، هذه المفاهيم: انتشار الضوء في خطوط مستقيمة، الازدواجية الظاهرية بين نار وأشعة ضوئية، وأيضاً واقع أن السماء منبع كبير للضوء، يدعم الفكرة الأولى، ليس ذلك فقط كأصل وإنما كارتباط دائم للضوء مع الآلهة. الضوء هو رسول الله! هذا ملخص للخواص الشائعة للضوء.

طبيعة الأشعة الضوئية

على مدى زمن طويل اختلطت دراسة الضوء مع الأشعة الضوئية. هذه الأشعة التي تنتشر في خطوط مستقيمة، تتكون دونما شك من فيض مستمر من أجزاء من الجسيمات الصغيرة جداً. الانتشار في خطوط مستقيمة يتطابق مع ما كان يعلمه ميكانيك غاليلي لنتزود به. وكذلك تناول نيوتن دراسة الضوء طارحاً الفرضية التالية: الضوء مكون من جسيمات، الفوتونات، التي يتم إصدارها بأعداد كبيرة وتنتشر في خطوط مستقيمة بسرعة كبيرة جداً. تبدو هذه الفكرة كافية، وسوف نركز منذ الآن على خصائص الأشعة الضوئية، التي ستقود دراستها في النهاية إلى صنع الأدوات الضوئية. أُعطينا جميعاً في المدرسة معلومات عن الأشعة الضوئية، المناظير، المجاهر، آلات التصوير، المرايا، الأشياء الواقعية والافتراضية، القائمة والمقلوبة. كل هذا يولّد في الأذهان خليطاً متنافراً ومشوشاً لارتسامات خطوط مستقيمة وتكسرات وبؤرات... إلخ.

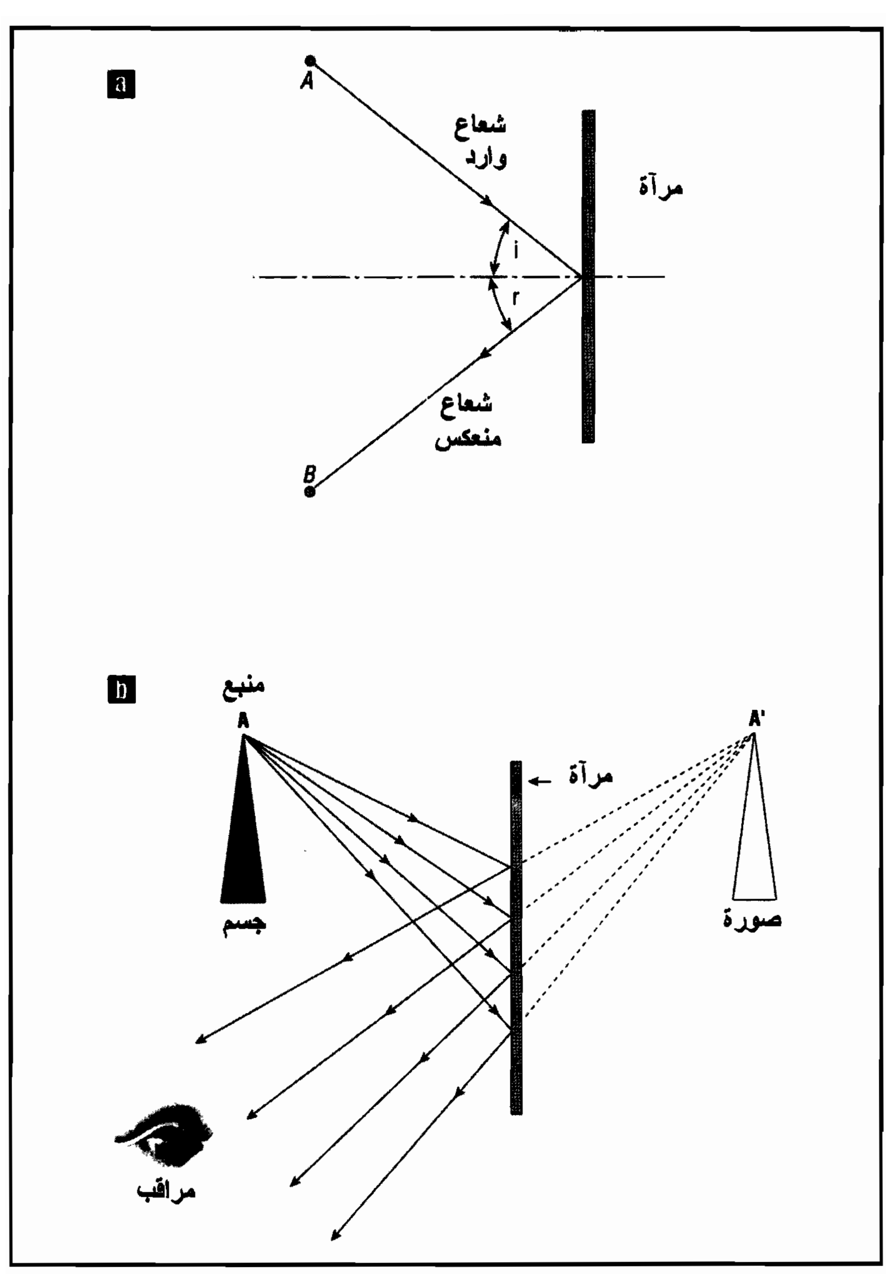
مع ذلك، يقود كل هذا إلى ثلاثة مبادئ بسيطة. ففي الوسط نفسه، ينتشر الضوء حسب خط مستقيم، وعندما يلاقي الشعاع حاجزاً

(عائقاً) فإننا نصادف حالتين. إما أن يرتد الشعاع عن الحاجز ويعود إلى الوراء فنقول أنه **انعكس**، أو أنه يتغلغل في الوسط الجديد (الذي هو شفاف) ولكن مع تغيُّر طفيف في اتجاهه فنقول أنه **انكسر**. هذه الظواهر تخضع لبعض القوانين الرياضية البسيطة التي عُبِّرَ عنها تمثيلياً بالأشكال (1.3، 2، 3، والشكل الملون 1)، والتي سمحت بتطوير علم دقيق جداً جامعٍ بين الضوء والهندسة هو علم: الضوء الهندسي. دعونا نسعد بالإشارة هنا إلى أن قانون الانعكاس عن سطح مستوٍ قد عرفه إقليدس منذ أربعة قرون قبل السيد المسيح، وأن اليونانيين كانوا يجيدون جيداً صناعة المرايا، وأن أرخميدس سيراكوزا Archimed de syracuse تبصر الانعكاس في المرايا المقعرة وبيَّن أنه يمكن بشكل خاص تركيز الضوء في بؤرة مرآة إذا كانت مقعرة – قطع مكافئ (يذكرون بالنار التي أحـرقت الأسـطول الرومـاني الذي كان يحاصـر سيراكوزا باستخدام مرايا مقعرة عملاقة)، وأن قوانين الانكسار كان قد اكتشفها الهولندي سنيل (والتي بكل خجل وعار زوّرها مواطني الفرنسي ديكارت). إن الفهم العميق والمركب للانعكاس والانكسار كان نتاج قاضي تولوز بيير فرما، المعاصر لكل من باسكال وديكارت، وبدون شك ذلك الأقل شهرة من عباقرتنا، لإنجازه الشهير "فرضية فرما" التي برهن عليها الرياضي الإنكليزي – أندرو ويل– الذي يعود الفضل له في أمجاده (ولكن ليس في موهبته)*. يذكر أن المناظير الفلكية والمجاهر** والنظارات الشخصية اخترعت في زمن غاليلي في بداية القرن الثامن عشر، أما نيوتن فقد اخترع بعد خمسين سنة من ذلك التلسكوب ذا المرآة – في ظروف نوضحها لاحقاً.

---

* معروف أن الانكسار هو الظاهرة الأكثر عمومية ولكنه يتحول إلى انعكاس، إما لأن طبيعة المواد التي يقع عليها الضوء تفرض ذلك (مرايا) وإما لأن زاوية اصطدام الأشعة مع السطح تفرض الانعكاس الكلي.

** غاليلي اخترع واحداً منها ولكنه لم يستخدمه.

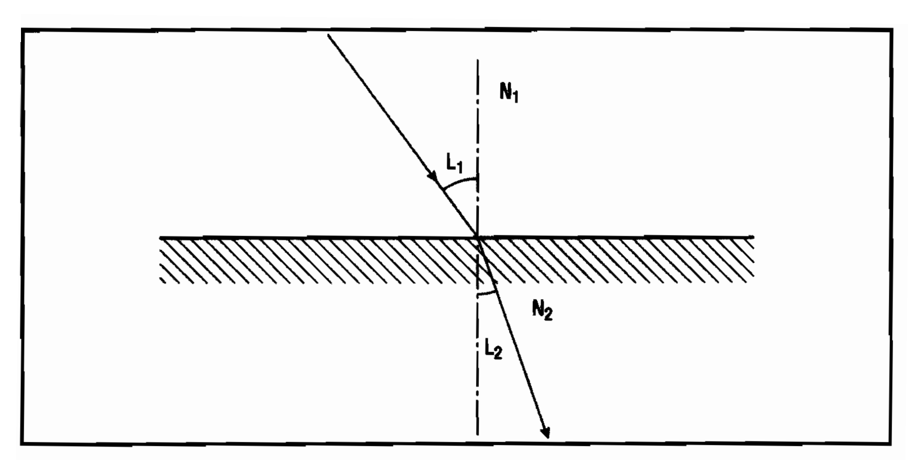


شـــكل 1.3

الانعكاس الضوئي

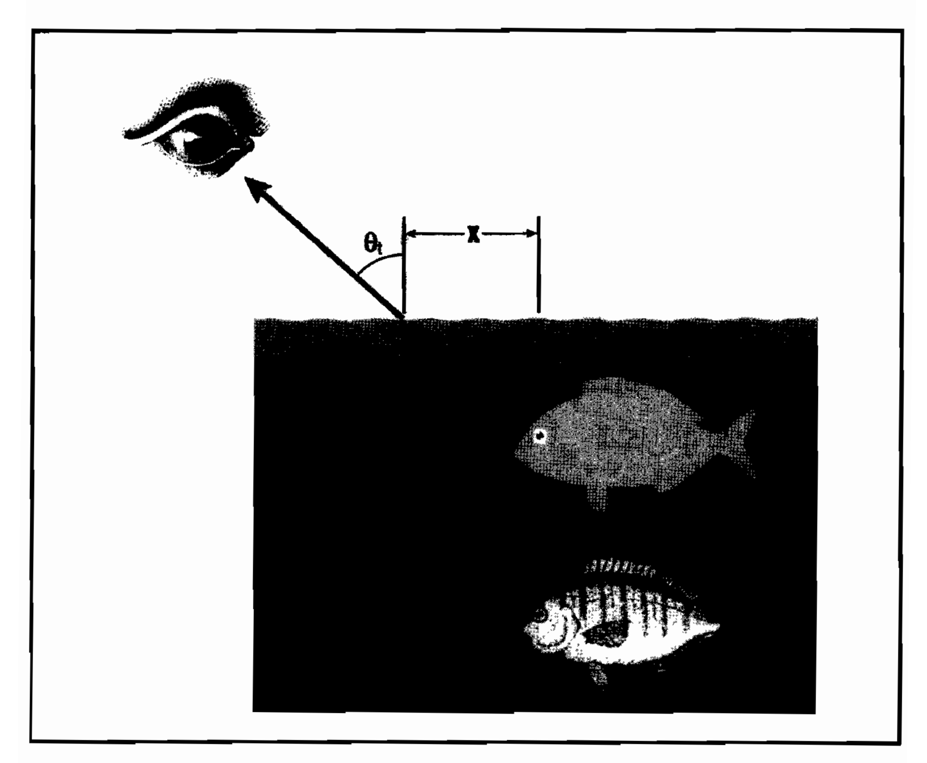
a) مبدأ انعكاس الضوء على مرآة، زاوية الورود = زاوية الانعكاس.

b) مبدأ تشكل صورة في مرآة.



شـــكل 2.3

الانكسار الضوئي: مبدأ انكسار شعاع ضوئي عندما يخترق الوسط الفاصل بين وسطين شفافين، زاوية الانكسار مختلفة عن زاوية الورود.



شـــكل 3.3

تطبيقات قانون الانعكاس والانكسار: كيف نرى سمكة في الماء. هناك انطباع بأن السمكة أقرب إلى سطح الماء من الحقيقة.

كريستيان هويغن، (1629–1695) والذي تحدثنا عنه سابقاً، هو أحد أكبر العلماء في كل الأوقات (نيوتن لم يكن ليخدع وكان يتعامل معه بحذر). مساهمته في العلم كبيرة وهائلة إذا ما تخيلناها. إنه اخترع العينية النافية– السالبة، للمناظير، واكتشف مدار ســاتيرن Saturne وقمره الأول ودوران زحل Mars. لقد أكد أن النجوم هي – بدون شــك – شموس محاطة بكواكب (تطلب الانتظار حتى السنوات الأخيرة لنرى هذه النبوءة تتحقق). اكتشف قوانين النواس البسيط، قوانين الانفراج (الانفلات) التي كانت أساس بناء الأجيال الجديدة من الساعات، وابتكــر كما رأينا في الفصل الثاني، مفاهيم القوة النابذة لجسم في حالة دوران، عزم السكون، وكان قد أدرك إدراكاً حدسياً، قانون حفظ كمية الحركة. الضوء عند هذا العالم موجة، ارتجاج (اهتزاز) للفضاء، ينتشر على شكل تذبذبات (تموجات) كالتشوهات المتشكلة على سطح الماء من جراء قذف حجرة.

لنذكر أن موجة تنتشر دون أن تنقل مادة. عندما تلاحظ أمواج البحر وتراها تتقدم فليس الماء هو الذي يأتي نحوك وإنما الموجة، التموجات، الحركة (كما يمكن التأكد من ذلك بالاختبار الشهير لسدادة الفلين*). إن مفهوم الموجة هذه التي تنتشر تاركة المادة في المكان (ولكن ليست بحالة سكون)، يكون أيضاً أوضح عندما ينتشر اهتزاز في جسم صلب. فمثلاً عندما تحصل هزة أرضية في طوكيو وتصلنا إلى باريس فإن المادة الصلبة التي تكوِّن الكرة الأرضية لم تنتقل لمسافة 30000 أو 40000 كيلومتراً، ولكن المنتقل هو الاهتزاز والتذبذب الذي نسجله بواسطة أدوات التسجيل، السيسموغراف! وعندما نكون مصطفين خلف بعضنا ويطلــق أحدنا، من

---

* إن سدادة فلين موضوعة في البحر تصعد وتهبط ولكن تبقى في المكان نفسه إلى أن تتلاشى الموجة فيتدفق الماء ويفيض.

الذين يشغلون النهايات الأخيرة، صوتاً يرجو به العمل على التقيد بالصف، فإن الرسالة تنتشر ثم تتشوه. هذا نوع من موجة.

كان كريستيان هويغن، الذي هو ابن أحد العلماء الهولنديين المؤيدين لغاليلي والمعجبين به، يعرف جيداً هذه الاهتزازات وهذه الموجات، وكان قد درسها منذ زمن طويل. كان يتصور أن الضوء اهتزازات، موجة (وهذا صحيح)، ولكنه كان يعتقد أنها موجة انضغاطية (كالصوت) وأنها تنتشر بضغط المواد التي تتواجد أمامها. ولكن نيوتن رفض هذه الفكرة سريعاً شارحاً أن الضوء ينتشر في الفراغ الفضائي باعتبار أننا نرى النجوم! وأن الضوء ليس باهتزازات لأنه لا يوجد في الفراغ ما يثير هذه الاهتزازات! ويجيب هويغن شارحاً أن كل الفضاء، بما في ذلك الفراغ، مملوء بمواد خفية غير محسوسة أطلق عليها الأثير Éthere، وهي تملك القدرة على الاهتزاز ونشر الموجات. وقد أثار مفهوم الأثير هذا جدالات طويلة حامية، وسنعود إليها، لأن هذه المعركة بين "الموجات والجسيمات" سوف تستمر حتى القرن العشرين، إلى الوقت الذي اقترح فيه أنشتاين رؤية تركيبية كانت بداية لثورة الكوانتية الكبرى،.. بالرغم منه.

نيوتن والألوان

لا يعتقد نيوتن بالأمواج الضوئية، وهو مؤيد وفيٌّ للفوتونات، بمعنى آخر للجسيمات الضوئية التي تنتشر ككرات ميكروسكوبية، حسب خطوط مستقيمة* ومع ذلك فإنه سيحقق دفعاً رائعاً للضوء. لقد قام بإجراء تجربة أساسية، ربما أنها واحدة من أظرف الأشياء التي نفذها في الفيزياء.

---

* كان نيوتن يعرف الأمواج جيداً جداً. حتى أنه فهم أنه عندما تمر موجة من ثقب فإنها يمكن أن تشع في الاتجاهات كافة. ومن أجل ذلك يقال إذا كان الضوء موجة، فإنه لا ينتشر في خط مستقيم. بالواقع فإن ظاهرة الانكسار موجودة ولكنها لا تتدخل إلا إذا كان طول الموجة مجاوراً لبعد الثقب.

فقد قام، باستخدام موشور* زجاجي، وحلل ضوء الشمس إلى ألوان: بنفسجي، نيلي، أزرق، أخضر، أصفر، برتقالي، أحمر. صحيح أن هذا التحليل لم يكن غير معروف، لأن الإيطاليين كانوا قد قاموا بذلك في زمن غاليلي ولكنهم لم يستخلصوا منه أي استنتاج أساسي. ثم جـــاء نيوتن وفكر باستخدام موشور ثانٍ مماثل للأول، فوضعه مقلوباً في طريق حزمة الضوء المحللة وهنا كانت الأعجوبة!.. حيث خرج الضوء من الموشور من جديد أبيضَ (انظر الشكل 2، ملون). أي أنَّه أعاد تركيب الضوء الأبيض من خليط الألوان الطبيعية.

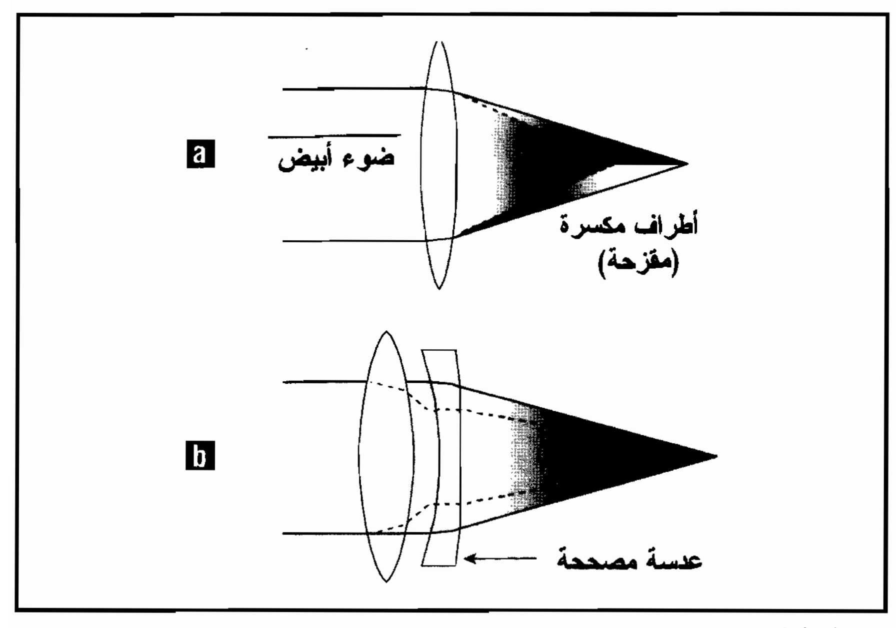
دفع نيوتن، التحليل بعد ذلك بعيداً بعض الشيء، إذ قام بعزل الأشعة الملونة كل على حدة، بعد الموشور الأول، وذلك باستخدام فتحات تحكم ثم وضع بعدئذ موشوراً ثانياً موازياً للأول بقصد تحليل كل لون إلى مركبات أكثر عنصورية أيضاً. فوجد، مندهشاً، أن الألوان لا تتحلل وإنما تبقى تماماً نقية (أو تقريباً). فعندما يدخل شعاع أحمر من الموشور فإنه يخرج منه أحمرَ، يدخل أخضرَ ويخرج منه أخضرَ، يدخل أزرقَ ويخرج منه أزرقَ. هذا هو البرهان على أن الضوء مكون من سبعة ألوان أساسية ولا شيء آخر. دعم بعد ذلك نظريته بتجربة جديدة. فقد قام، بالواقع، بتلوين الحارات السبعة لقرص باستخدام سبعة ألوان، ثم جعل القرص يدور فتبين له أن القرص يأخذ اللون الأبيض (وهي تجربة يُطلب من طلاب المدارس تنفيذها ولا تتم دوماً بشكل جيد).

هذا الإنجاز أدى إلى إضافة خطوة هامة للفيزياء: الضوء الأبيض معقد، مكون من خليط – خليط من سبعة أضواء مختلفة، أضواء لكل منها لون مميز.

---

* الموشور نوع من المخروط المسطح لجسم صلب ومقطعه مثلث متساوي الأضلاع.

جميع تجارب نيوتن هذه كانت قد أُجريت في أعقاب بحوث كان قد قام بها بقصد بناء تلسكوب Téléscope. بنى أولاً منظاراً "بطريقة غاليلي"، فتبين له، هنا، أن أطراف الصور التي كان يحصل عليها متقزحة (بلون قوس القزح)، ملونة، وأن الألوان تتابع دوماً في التسلسل نفسه: بنفسجي، نيلي، أزرق، أخضر، أصفر، برتقالي، أحمر. استخلص من ذلك (خطأ) أنه لا يمكن البتة بناء منظار مثالي لأننا لا يمكننا أبداً إلغاء هذا التحلل إلى ألوان في الأطراف، مما يعطي الصور إطارات مقزحة (انظر شكل 4.3). في ضوء هذه البينة قام بصناعة أول تلسكوب ذي مرآة، تجنباً للمنظار!. وهكذا إذاً لفهم ظاهرة التقزح باشر التثبت من تحليل الضوء باستخدام موشور، ويا لها من مبادرة سعيدة!



شـكل 4.3

مبدأ تصحيح التقزح اللوني في عدسة

a) بمشاركة عدسة

b) بجمع عدسة محدبة إلى عدسة مقعرة

على أن نيوتن لم يكن أول من التزم بهذه الطريق: هوك وديكارت من بين آخرين انخرطا في هذا النوع من التجارب قبله. ولكنه كان بالتأكيد الأول الأول الذي فهم معناه العميق بفضل تركيب اختباري أكثر دهاء من ذاك الذي لسابقيه. هؤلاء كانوا قد وضعوا شاشة مراقبة على بعد عدة ديسيمترات من الموشور، أما هو فقد أقامها على بعد عشرة أمتار! الألوان بالتأكيد كانت باهتة ولكن متفرقة بدقة ومتميزة وبالتالي صار أسهل بكثير فهم تحلل الضوء الأبيض إلى ألوان متعددة. مع ذلك بقي نيوتن مقتنعاً بأن الضوء مكون من جسيمات صغيرة، كحبات الخردق المستخدمة في البندقية، تنتشر بخط مستقيم بما يكفي للتصور بأنها من سبعة أنواع. وهكذا بجعل الضوء يسقط على نصف عدسة موضوعة على مستوٍ، اكتشف نيوتن ظاهرة جديدة مدهشة.

تبين لنيوتن بالواقع، أنه يوجد، حول العدسة نطاقات مظلمة ومضيئة بشكل تبادلي أسماها هالات (تهدبات). وسنتكلم عن التهدب لاحقاً بكل سرور. ولكن كيف يمكن تفسير ذلك؟ نيوتن عاند واستمر في رفض الأمواج. ثم تخيل جملة معقدة، ميكانيكية بشكل خالص ولكنها لم تقنع أحداً. بقيت ملاحظة الهالات، في أذهان العلماء... دونما تفسير. ولكن التفكير بها استمر أيضاً.

أبيض + أبيض = أبيض أو أسود؟

أي سر هذه التهدبات البيضاء والسوداء...فبعد نيوتن وتجربته الأساسية سيتجاوز توماس يونغ (1773–1829) مرحلة جديدة. كان توماس يونغ مزوداً بكل شيء: بالأدب كما بالعلم، بالموسيقى كما بالرسم. عموماً مع الأسف، فإن هؤلاء العباقرة "متعددو الأبعاد" لا يتركون إلا قليلاً من المساهمات الكبيرة، إما لأنهم مشتتون ولا يخصصون الوقت الكافي لموضوع محدد ليحملوا له مساهمة حاسمة، وإما لأنهم متشددون في النوعية ويخضعون للتنقية والتدقيق، هم بأنفسهم، ما كان يمكن أن يحققوه: "أريد أن

أكون شاتوبرياند* أو لا شيء"، "لا مشكلة في عدم الصعود كثيراً ولكن وحيداً". كل هذه المبادىء الجميلة التي نحبها أدبياً قادت إلى عقم الكثير من العلميين. أما توماس يونغ فكان خلاف ذلك، مزوداً بكل شيء، فقد نجح كلياً أو تقريباً: بالنسبة إلى ما يخصنا هنا، أي الضوء، فقد أجرى التجربة الثانية الحاسمة واقترح نظرية الضوء الأكيدة تقريباً (شكل 3، ملون). التجربة الأساسية ليونغ هي المعروفة "بهالات **التداخل**"- لنحفظ جيداً هذه الأسماء، إنها كلمات تُعدُّ مفتاح في الفيزياء، لهؤلاء الذين يتناولون مناقشة موضوع فيزيائي، بخفة واستهتار. **التداخلات** إذاً.

إذا أحدثنا ثقباً صغيراً في جدار غرفة مظلمة، يتبين أن الضوء الذي يخرج من الشق ليس مطابقاً تماماً لنظرية الشعاع الضوئي. الواقع، أنه ما أن يتم تجاوز الثقب، حتى تتسع الحزمة الضوئية وتضيء، بفضل هالة ذات شدة ضوئية أضعف نطاقاً، أكثر اتساعاً مما تفترضه أبعاد الفتحة. هذه هي ظاهرة الحيدان (الانعراج) Diffraction (فكيف يمكن تفسير ذلك مع جسيمات؟). لنفترض الآن أننا لا نثقب فتحة واحدة وإنما نثقب فتحتين متجاورتين جداً، كل منهما سوف تولد نطاقاً واسعاً من الضوء. لنضع شاشة خلف الفتحتين ولنتفحص النطاق حيث الهالتان الضوئيتان تتراكبان فوق بعضهما. نتحقق من ظاهرة غريبة شاذة وغير متوقعة. كان بالإمكان التفكير بأنه في حال تراكب نطاقين ضوئيين، فإن الناتج سيكون أوضح وأكثر إضاءة وبريقاً. لكن بالعكس، يتبين لنا، وجود ثليمات هدبية على الشاشة، أي شرائط صغيرة تكون بالتبادل **سوداء** (أقول سوداء حقاً) **وبيضاء**، بريقها أكثر بكثير جداً.

---

* شاتوبرياند Chateaubriand، هو رمز للجودة والعظمة والفخامة والطيبة سواء أكان ذاك الكاتب الفرنسي المعروف (1768-1842) أم تلك الشريحة من لحم البقر المشوي في فرنسا أم مركز المحافظة الفرنسية المعروفة على الأطلنطي. **المترجم**

عندما أجرى توماس يونغ هذه التجربة دُهِش بدون شك. فالشرائط البراقة لم تكن لتطرح عليه مشكلة لأن الظاهرة كانت مطابقة للإدراك المسبق، أي أن الضوء يدعم الضوء: الضوء، القادم من فتحة يضاف إلى الضوء القادم من فتحة أخرى. أما بالنسبة للشرائط السوداء، فلابد من القبول بحقيقة مايلي: **في بعض الأماكن من الضوء، فإن مزيداً من الضوء يعطي ظلمة من السواد. إضافة الضوء ولَّدت سواداً!** المصباح في غرفتك لم يعد يضيء جيداً، فتشتري بدلاً منه آخر فتضيئه على أمل أن تحصل على إضاءة أفضل للغرفة، لكن تتبين وجود تحززات (شرائط رفيعة) سوداء على الجدران، فماذا تفعل؟ دون شك ستعيد اللمبة إلى البائع سائلاً إياه: "هذا المصباح الشيطاني الذي بعتني إياه ممَّ هو مصنوع؟" كل ذلك لبيان كم كان توماس يونغ مندهشاً بنتيجة تجربته! كان يجب عليه أن يفهم، وقد فهم...وهنا تكمن عبقريته. إنه تذكر فكرة هويغن التي حَسْبَها عدَّ الضوءَ موجةً. بالطبع، كان نيوتن قد مسحها بخلف كفِّه، ثم، وككل إنكليزي، يجل نيوتن. ولكن ماذا لو كان هذا الهولندي الظريف على حق؟ لذلك تعالوا نر معه فكرة أن الضوء يمكن أن يكون مكوناً من موجة.

ما هي الموجة؟ إنها انتشار في الفضاء بشكل متعاقب لاهتزاز ذي قيم متتالية +1، −1، +1، −1، +1... يمثل ذلك نوعاً من إشارات الشيفرة (مورس* morse) رموزها +1، −1. عندما نجري تجربة فتحات يونغ فإننا نستقبل على الشاشة، في النطاق حيث تتراكب هالتا الضوء، إشاراتٍ من نوع (+1، −1، +1، −1). لكن الضوء يتميز بسرعة محددة والمسارات ليست واحدة بالنسبة لكل الأشعة. المتوالية (+1، −1، +1، −1) هي متوالية متواقتة كضربات القلب. لنفترض إذاً أنه في نقطة محددة من الشاشة،

---

* نوع من الشيفرة المستخدمة في البرق مكونة من نقط فقط وخطوط. **المترجم**

نستقبل شعاعين ضوئيين*. يمكن أن ننتظر أن تكون النتيجة حاصل مجموع المتواليتين (+/–). إذا وصلت المتواليتان إلى المنتصف على مسافة واحدة من الفتحات فيجب أن نجمع (+1،–1،+1،–1،+1،–1...)، مما يعطي (+2،–2،+2،–2،+2،–2...) أي تبادل متماثل لموجة الانطلاق، ولكن مع سعة مضاعفة. فبدلاً من (+) أو (–)1، يكون (+) أو (–)2. ولكن إذا كان هناك تأخُّر صغير، تأخُّر بمقدار الواحدة، فيكون علينا أن نجمع (+1،–1،+1،–1،+1،–1...) + (+1،–1،+1،–1،+1،–1...) وتكون النتيجة 0،0،0،0،0،0... ولن يكون هناك من ضوء.

انطلاقاً من ذلك، فإنه من السهل كتابة العلاقة الرياضية الصحيحة بين **المسافة بين الفتحات والمسافة بين التهدبات** السوداء مثلاً. ولكن هل هذه الظاهرة عامة لكل الاهتزازات؟ نعم، بالتأكيد، إذ يمكن إجراؤها من أجل الأزرق كما من أجل الأحمر، كما يمكن إجراؤها أيضاً للموجات الصوتية**. وهكذا فإن توماس يونغ يستطيع أن يعلن أن الضوء هو بالتأكيد موجة"خاصة" تجعل الوسط الكوني يهتز، وحتى الفراغ الذي أسماه هويغن"الأثير"، وأن يضيف هذه النقطة الأساسية: الضوء لا يهتز كالصوت بما يخص انتشاره (بطريقة الأكورديون)، ولكن عمودياً على اتجاه انتشاره.

عندما تصل هذه الاهتزازات إلى مكان ما، فإنها تتداخل، أي تضاف إلى بعضها بعضاً (أو تطرح من بعضها) وعليه إما أن تدعم وإما أن تلغى. غير أن يونغ كان يعرف جيداً أعمال نيوتن كلها عن تحلل الضوء إلى ألوان، ولذلك سنراه يذهب بعيداً.

---

* لاحقاً، بعد وقت طويل، أجرى دافيسون وجرمر تداخلات بالإلكترونات، وسيكون ذلك نقطة الانطلاق للميكانيك الكوانتي الذي أساسه أن الجسيمات هي أيضاً موجات على المقياس المجهري.

** يفسرون بالطريقة نفسها تشكل هالات نيوتن.

الواقع أنَّ يونغ كان يقول أن الضوء خليط اهتزازات وكل اهتزازة تتميز بلون. إذاً الضوء يتركب من سبعة اهتزازات تتصرف كل منها لحسابها الخاص. إذا ماعزلنا لوناً أحمرَ ومارسنا عليه تجربة الفتحات فسنجد تليمات حمراء وسوداء. إذا ماعزلنا الضوء الأزرق فإن تجربة يونغ تعطي تهدبات زرقاء وسوداء. وهكذا إذاً من الممكن تمييز كل ضوء، كل لون بقيمة مميزة للاهتزازة التي تحمله وهذا ما ندعوه طول الموجة. طول الموجـــة هو المسافة المقطوعة من اهتزازة في الفراغ عندما، انطلاقاً من حدها الأقصى (+1 في المثال السابق)، تعود إلى +1، بعد أن تكون مرت بحدها الأدنى (−1). الوقت الذي صُرِف للمرور من الحدين الأقصيين يسمى الدور. إذاً طول الموجة هو الطول المقطوع خلال دور. ولكن كيف يمكن قياس طول الموجة هذا؟ للوصول إلى ذلك، عاد يونغ إلى تجارب التداخل باستخدام ألوان متعددة. سمح قياس المسافة بين التهدبات بتحديد طول الموجة. ما هي أطوال هذه الموجات؟ في مجال الرؤية، يتراوح طول الموجة بين 3500 أنغستروم و7200 أنغستروم (1 أنغستروم أو 1Å= 10^{-10}م). البنفسجي قريب من 3500Å ، الأحمر قريب من 7200Å .

شـــاب خجــول

في العلم، تحترم وتجل العباقرة، المجددين، وهذا عدل لأنهم يلعبــون غالباً دوراً حاسماً – وأحياناً لا يعوض. ولكن يحصل أيضاً أن فكرة تسبح في الهواء، وتصبح ناضجة في لحظة ما وبالتالي فإن الموهبة تكمــن فــي اغتنامها قبل الآخرين. هذه كانت حالة نيوتن من جهة، وليبنز مــن جهـــة أخرى، اللذين اغتنما فكرة الحساب التفاضلي التي، منذ فرما، كانت تســبح في الهواء ثم أبرزاها – كلٌّ على حدة بشكل مستقل. وتكرر الشيء نفســه بالنسبة للضوء. فبعد عدة سنوات من دراسات يونغ الرائعة على الضــوء،

أعاد شـــاب، مـــن المـــدارس الكبـــرى متعـــــددة العلــــوم والتقنيـــات Polytechniques، هو أوغيستين فرينل (1788-1827)، بشـــكل مســـتقل اكتشافَ كل نتائج يونغ، وعممها وصاغها رياضياً- مع أنه كان يجهل أي عمل لسابقه.

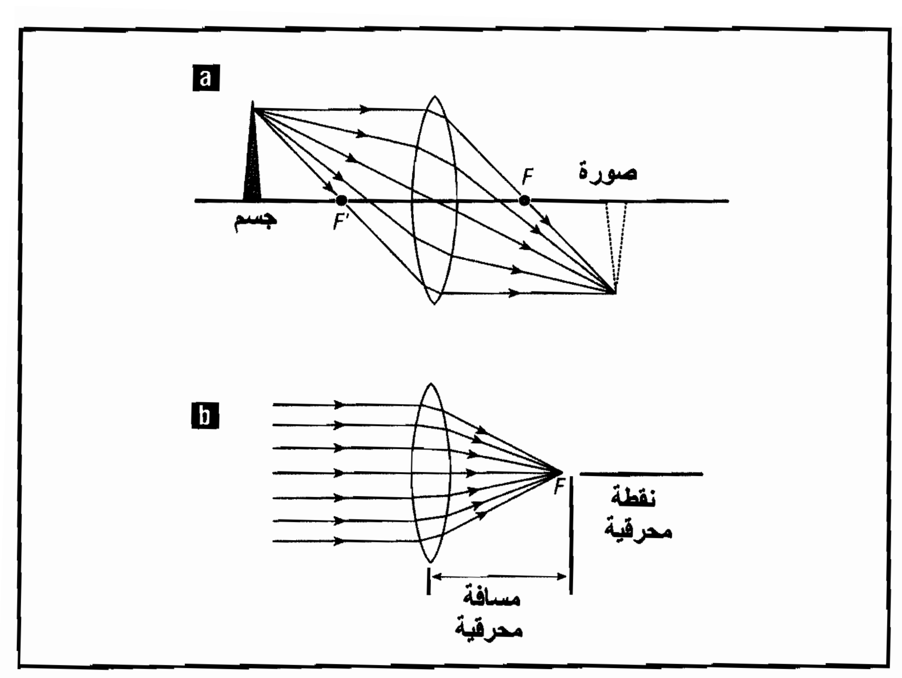
كان يمكن التفكير بأن يطالب فرينل بالأولوية له ولكنه لم يفعلها، أو على العكس أن يستخف يونغ بهذا الشاب الفرنسي الذي وصل الحلبة بعده بكثير. ولكن لم يحصل شيء من هذا كله البتة. فقد بدا يونغ كريماً جداً ومتسامحاً، مهنئاً فرينل لاكتشافاته التي كان هو قد قام بها مشيراً إلى ما حملته من أصالة. أما بالنسبة لفرينل فما أن عرف باكتشافات يونغ عن طريق أعوانه حتى عدَّه أستاذه ومعلمه. باختصار فقد تصرف كل منهما كعلمي أسطوري، مشغولٍ بالحقيقة أكثر من المجد الشخصي، تاركين في المرتبة الثانية شهرتيهما ومؤمنين أن الأدبيات العلمية يجب أن يكون لها المحل الأول. أي درس جميل هذا؟! وبما أن المشهد جميل فلِمَ إخفاؤه؟ مراسلاتهما بديعة وظريفة. يقول فرينل: "[...] اعترفت بكل طيبة خاطر أمام الجمهور، في عدة مناسبات، بأسبقية اكتشافاتك [...]". ويقول يونغ: "يسعدني لأول مرة أن أعلم [...] أن عملاً لي في الضوء قد قرأه السيد فرينل، ويبدو أنه اكتشف من جديد بجهوده الخاصة قوانين التداخل [...]". سيعتقد أننا في أماكن عذرية شاعرية بينما يطلب منا دوماً أن نكون أكاديميين.

الاســـتقطاب

الواقع، وبدون أية تعصبية وطنية (شوفينية chevinisme) يبدو أن أعمال فرينل نظرية، منهجية، كاملة أكثر من تلك التي ليونغ. (التكوين الرياضي العالي جداً، والبعض يقول كثيراً جداً، للمدارس العلمية والتقنية

الكبرى، يكون أحياناً جيداً). لقد طور بشكل خاص صيغة رياضية عامة سمحت بشرح ظاهرة خاصة جداً هي الانكسار المضاعف. كانت هذه الظاهرة معروفة جيداً من قبلُ. فعندما تضيء بلورة لها خصوصيتها قليلاً تدعى بلورة سبات أيسلندا Spath d'Islande فإن الشعاع الضوئي الساقط ينقسم إلى شعاعين منكسرين مختلفين. كان هذا كله سراً. والحالة هكذا، فقد بين فرينل أنه إذا اعتبرنا مع هويغن أن الضوء اهتزازة تهتز في مستوٍ عمودي على اتجاه انتشارها فإن كل شيء يمكن فهمه: تسمح بلورة أيسلندا، بالتأكيد، للاهتزازات بالمرور في اتجاهين متعامدين، ولكن لا بالسرعة نفسها ولا "بعامل الانكسار" نفسه: تحلل هذه البلورة إذاً الضوء إلى مركبتين، وهذا ما حصل، وتظهر أن الضوء الأولي يتضمن مركبتين متراكبتين (قليلاً مثلما يتضمن الضوء الأبيض ألواناً متعاقبة) تقوم بالفصل بينهما. وإذا ما قمنا بخلط هاتين الاهتزازتين فإننا نحصل على الاهتزازة الأساسية.

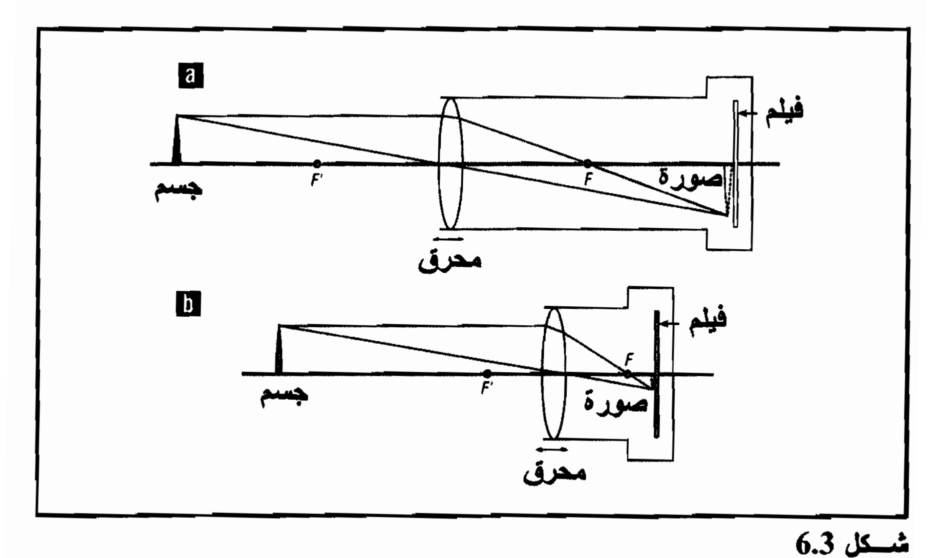
بالطبع هذا هو المبدأ الذي يصنع حسبه اليوم الزجاج الاستقطابي الذي يخفف إلى النصف شدة الضوء الساقط بسبب عدم سماحه للاهتزازة الضوئية بالمرور إلا في مستوٍ واحد. وإذا ما صالبنا زجاجين استقطابيين فإنَّ السواد يعم، لأنه في هذه الحالة لا يمر أي ضوء لأن مستويي الضوء متعامدان [نفذ هذه التجربة البسيطة بزوجين من النظارات بوضعهما متوازيتين، ثم أدر إحداهما. في لحظة ما يختفي الضوء (يغشي السواد). هذا يدل على أنك لم تدخ وأنك اشتريت نظارات استقطابية!]. بما أن هذه الخاصة مشتركة بين الكثير من البلورات فقد تم صنع مجاهر استقطابية لدراسة فلزات الصخور (انظر شكل 5.3)، كما تم صنع آلات للتصوير (انظر شكل 6.3).



شـــكل 5.3

مبدأ عمل عدسة مقربة

a) تشكل صورة لجسم قريب. b) تمحرق الأشعة البعيدة (الشمس)



شـــكل 6.3

مبدأ آلة التصوير

a) مع محرق كبير. b) مع محرق صغير.

أشعة الشمس السوداء

بيَّن نيوتن أن الضوء ينتج من تراكب سبعة ألوان أساسية وبيَّن كل من الإنكليزي وولاستون في عام 1802، ثم الألماني فرونهوفر في عام 1814، من خلال تحليلهما ضوء الشمس باستخدام موشور مشتت للضوء، أن ضوء الشمس يمكن أن يحلل إلى أشعة بلون مختلف، بعضها كان شديداً وبعضها الآخر كان باهتاً، ولكن الطيف كان متقطعاً (انظر شكل 4 ملون). عندما نلقي ببودرة الصوديوم في نار مشتعلة ونحلل الضوء الصادر عنها باستخدام موشـور، نسـتجلي بوضوح أن الصوديوم يتمتع بأشعة مميزة ومحددة جيداً. وهكذا قام كل من بونسن وكيرشـوف بدراسة كل الأجسام الكيميائية الممكنة وتأكدا أن كلاً منها يتميز ببصمة طيفية نوعية.

عندما تخلط هذه الأجسام وترمى في نار مشتعلة، فإننا نجد مختلف الأشعة الموافقة للعناصر المختلفة المحللة. بهذه الطريقة أصبح من الممكن تحليل، بفضل الطيف الضوئي، التركيب الكيميائي لشعلة (وعلى العموم كل المنابع الضوئية). وهكذا سيكون من الممكن قريباً تحليل التركيب الكيميائي للشمس ولاحقاً للنجوم البعيدة. يتم الحديث إذاً عن الطيف المجهري "Spectroscopie" والطيف المتري "Spectrométrie"، عندما تصبح هذه الطريقة كمية. وهكذا ولدت علوم الفيزياء الفلكية "Astrophysique" والكيمياء الفضائية "Chimie cosmique". غير أن فرونهوفر المندهش، وسط هذا الطيف الشمسي الملون من البنفسجي إلى الأحمر، ميز أشعة سوداء... نعم، مندهش!

كان نيوتن قد حلل الضوء باستخدام موشور، يونغ وفرينل كانا قد أنتجا تهدبات التداخل التي كل واحدة من اثنتين منها سوداء، ولكن ما الذي يمكن أن يكون أصل هذه الأشعة السوداء التي عددها 476 شعاعاً، كما

حددها الضوئي البافاري جوزيف فرونهوفر في طيف الشمس عام 1814؟ هل هي نتيجة تداخلات؟ وأين تتولد؟ بدا أنها هيئة أقل انتظامية من تهدبات التداخل السوداء. ما هو منشؤها؟ جاء التفسير على مرحلتين. فبعد خمسين سنة لاحظ كل من بونسن وكيرشوف أن من بين التهدبات السنوداء لطيف الشمس، اثنين يتوافقان مع التهدبات السوداء للصوديوم التي حدداها في المختبر، وهكذا قررا أن يضعا أمام الموشور الذي يحلل ضوء الشمس شعلة مع الصوديوم. وأمام دهشتهما الكبرى فإن التهدبين العاتمين صارا أكثر اسوداداً. وهكذا أصدر كيرشوف الفرضية التالية: لقد امتص صوديوم اللهب الأشعة الصادرة عن الصوديوم الموجود في الشمس! فالصوديوم يصدر ويمتص التهدبات نفسها! رائع جداً. ثم استنتج كيرشوف من ذلك شيئاً آخر. في طيف الشمس العادي، إذا وُجد هذان التهدبان الأسودان اللذان يتوافقان مع التهدبات الصادرة عن الصوديوم فهذا يعني أنه يوجد بين الشمس والموشور صوديوم يمتص هذه التهدبات نفسها. ونَسَبَ امتصاص الصوديوم إلى الأتموسفير الأرضي! لأنه إذا كان امتصاص التهدبات يأتي حقاً من الأتموسفير فإنه سيكون من أتموسفير الشمس نفسها! أي إذا كان الطيف الشمسي يحتوي تهدبات سوداء فلأن التركيب الكيميائي للغلاف الجوي الشمسي يصفّي ويلغي ويمتص تهدبات محددة من الضوء المنبعث من داخل الشمس؛ الذي هو سعير كشعلة بونسن. تصدر الشمس الضوء وفي الوقت نفسه يقوم غلافها الجوي بامتصاصه.

هذه الظاهرة المستمرة (انبعاث/وامتصاص الضوء من قِبل المادة) ستجد تفسيراً مسببا لها في بداية القرن العشرين مع ثورة الكوانتوم. ولكن نتائجها فيما يخص الملاحظة الفلكية كانت فورية. عندما نستقبل ضوءاً قادماً من نجم بعيد فإن هذا الضوء هو تعاقب لحادثتي الامتصاص

والانبعاث: الانبعاث من أتونات نجمية، وامتصاص من قِبل المواد مابين النجوم... إلخ. مهما يكن من أمر فإن التحليل الطيفي الفلكي وتحليل التهدبات الممتصة والمنبعثة خاصة، معقد جداً من الوجهة التقنية، ويبدو غنياً جداً بالمعلومات الفريدة من نوعها. إنه يسمح بتحديد التركيب الكيميائي للكواكب (انظر شكل 5، ملون)! هكذا ولدت الكيمياء الفضائية.

سرعة الضوء

هذا الضوء الذي أدركناه بادئ الأمر كحزمة من الجسيمات، ثم ككل من الأمواج التي تجعل هذا الوسط الذي أسميناه الأثير يهتز، ينتشر سريعاً جداً. سريعاً كثيراً حتى أن البعض، مثل كبلر أو ديكارت يفترضان أن سرعة انتشاره كانت غير محدودة (لا نهائية). آخرون مثل غاليلي أو نيوتن، كانوا يعتقدون، أنها محدودة. حتى أن غاليلي حاول تجريبياً قياسها. بالطبع لم يكن لديه ساعة دقيقة بما يكفي لمثل هذا المشروع ولم يتوصل إلا إلى القول: "إنها حقاً كبيرة".

بعد خمسين سنة جسَّد فلكي دانماركي، هو رومر، أحد اكتشافات غاليلي لتقدير قيمة سرعة الضوء. يدور أحد أقمار المشتري، I_O، حول المشتري في 42.5 ساعة. أما الأرض نفسها فلها حركة بسيطة بالنسبة للمشتري فهي تقترب منه خلال نصف سنة ثم تبتعد عنه خلال النصف الآخر من السنة. مدة نوس (خسوف) القمر، I_O مقاسة من الأرض تكون أكبر عندما تبتعد الأرض عن المشتري من مدتها عندما تقترب منه. استنتج رومر أن ذلك ما كان ليتم لولا أن للضوء سرعة محدودة. وبعكس ماتؤكده المخطوطات فإنه لم يحقق الحساب. أول من قام بهذا الحساب هو الفلكي الإنكليزي برادلي الذي استند إلى ملاحظة النجوم في حساباته حيث وجد قيمة 300000 كيلومتراً في الثانية وهي سرعة جيدة جداً. غير أن هيبوليت

فيزو، هو من أعطى حقيقة السرعة الدقيقة في عام 1849. وضع فيزو منظارين على استقامة واحدة الأول في سيروسنيس*، والآخر في مونت مارتر*، وتفصل بينهما مسافة 8633 متراً (على أنه لم يكن سهلاً في ذلك الحين التأكد من الاستقامة التامة!). اســتبدل فيزو في المنظــار الثاني العينيــة بمــرآة عاكسة للضوء، وفي الأول وضع مرآة نصف عاكسة تسمح له بآن واحد بإرسال الضوء انطلاقاً من مصباح شديد جداً وملاحظة شــعاع العودة. وضع عند مخرج المنظار الأول دولاباً مسنناً يستطيع من خلاله تغيير السرعة. الأسنان والفراغات كانت مربعة تسمح بإصدار ضوء متقطع بشكل متواقت، ولكن هذا الدولاب المسنن يسمح أيضاً بإيقاف الضوء المنعكس بواسطة المنظار الثاني. لاحظ فيزو أنه إذا غيَّر سرعة الدولاب المسنن بشكل مناسب، فإن حزمة ضوئية – منطلقة من المنظار الأول، وتنعكس على مرآة الثاني– ستوقفها السن المربعة التالية الموضوعــة أمام العينيــة في سيروسنيس. المراقــب في سيروسنيس يرى إذاً نوس الوميض في مونت مارتر. توخياً للدقة، كان للدولاب 720 سناً، سرعة الدوران الضرورية كانت 12 دورة في الثانية تقريباً. وهكذا قدر سرعة الضوء البالغة 315000 كم في الثانية.

شهد العام التالي تنافساً حامياً بين مجربين غير متعادلين، صديقين ثم خصمين هما فيزو وفوكو. قاما بالتصدي لتقنية أخرى من الأهمية الأولى بمكان. أسرعة الضوء أكبر في الهواء أم في الماء؟ بما أن من غير المأمول إملاء النطاق الواقع بين سيروسنيس ومونت مارتر بالماء، فكان لابد من تصور آلية أخرى. فيزو وفوكو ابتكرا آلية بارعة بحيث أن المسارات

---

* سيروسنيس ومونت مارتر، ضاحيتان من باريس. الأولى في الغرب منها والثانية أصبحت تشكل جزءاً منها تابعة للمنطقة العشرين.

الضوئية ستؤثر على مدى مسافة عشرين كيلومتراً اعتباراً، هذه المرة، من مرآة تدور سريعاً جداً. ربح فوكو السباق وأعطى النتيجة أولاً، ولكن فيزو أكدها بعد عدة أشهر: **ينتشر الضوء بسرعة أكبر في الهواء منها في الماء.** ثم تأكد بعد قليل أنه **ينتشر أيضاً بسرعة أكبر في الفراغ.** الضوء بالتأكيد هو موجة...ولكن موجة سريعة جداً.

الألـــوان

ذكرنا أن الضوء ذو طبيعة موجية، بعد أن شرحنا أن الضوء الأبيض مكون من خليط من الألوان. ثم رأينا كيف قسنا هذه السرعة الخارقة للضوء. فما هي العلاقة الكائنة بين كل هذا؟ وما هو الدور الذي تلعبه أعيننا؟ كان القدماء يعتقدون أن العين هي التي تخلق الضوء، وهذا ما يضحكنا اليوم، ولكن هل كانت الفكرة ساذجة لهذه الدرجة؟ دعونا نحاول ترتيب هذا الخليط. أولاً سرعة الضوء هي نفسها بالنسبة لكل الألوان في الفراغ (وفي الهواء الجاف أيضاً). إذا أعدنا تجربة فيزو مع مصابيح بألوان مختلفة فسنحصل على السرعة نفسها تقريباً، ولكن ليس ذلك تماماً. لأنه، عندما يخترق الضوء مادة فإنه يتفاعل معها وهذا التفاعل يتوقف على تواتر الاهتزازات، إذاً على اللون. وعليه فالألوان تنتشر في المادة، بسرعات مختلفة، وهذا الاختلاف بالذات هو الذي يسمح للموشور بتحليل الضوء. ولكن في الفراغ، لنكرر ذلك، كل الألوان تنتشر بالسرعة نفسها.

كنا قد ذكرنا أن الضوء الأبيض مكون من خليط من سبعة ألوان أساسية. هذا التقسيم، الموضح جيداً جداً بتجربة نيوتن، يعود لعين الناظر وللإحساس الذي يزودها به الضوء. بالنسبة لتواترات اهتزاز الضوء فإنها تتباين بشكل مستمر. بعض هذه التواترات التي تنطبع على شبكة العين، هي تلك التي تتوافق مع طيف مرئي، وتصطفيها العين. وعليه فلم يكن القدامى

على خطأ عندما كانوا ينسبون للعين دوراً في خلق الضوء. إذاً الضوء الأبيض هو ذاك الذي يترك انطباعاً في العين. توجد تواترات ضوئية أكبر لا تنطبع في العين، هي الأضواء فوق البنفسجية، وأخرى لها تواترات أكثر صغراً هي تحت الحمراء. هذه وتلك يمكن لنا إيضاحها من خلال تحليلها بواسطة الموشور حيث نستطيع بسهولة أن نميز أنه من جانبي الألوان المرئية يوجد شيء ما يسخن. يمكن بالطبع قياس ذلك ودراسته بطرق أكثر ملاءمة وإعداداً (توجد مواد حيث بعض الحيوانات التي عيونها حساسة للألوان لا تستطيع أن ترى). العين إذاً هي التي تنتج الألوان. ضمن هذا الإطار نستطيع متابعة المحاكمة. جميع الألوان يمكن أن تولد اعتباراً من ثلاثة ألوان أولية.

في التلفاز نستخدم ثلاثة ألوان – الأحمر، الأخضر والأزرق (انظر شكل 6، ملون). إذا ما أعطى لونان مختلطان، ضوءاً أبيضَ، يقال عنهما أنهما متكاملان. انطلاقاً من حقيقة أن: أحمر+ أزرق+ أخضر= أبيض، يمكننا أن نكتب سلسلة من العلاقات المسلية مثل: أصفر + أزرق = أبيض، لأن أصفر = أحمر + أخضر. كما يمكننا أن نقوم بتركيب ألوان لا بجمع أو إضافة زائدة فقط، وإنما بطرح مكونات باستخدام مصفٍ. الألوان الأساسية الثلاثة المستخدمة في التركيب بالتصفية هي المصفيات التالية: أحمر فاقع Magenta ، أزرق قاتم Cyan (نوع من الأزرق) وأصفر (والتي تسمى تعسفاً أحمر، أزرق وأصفر غالباً). إنها الألوان الأساسية للرسوم والصور. ما هو تفسير كل هذا؟ هو أن ضوءاً لا يميز بتواتر اهتزازي واحد، ولكن بتوزع تواترات مستمرة. وعليه فإن العين تتفاعل بطريقة متقطعة بتوزعات ذات تواترات مستمرة. وهكذا، فإن خليط الألوان بالجمع أو بالتصفية يصبح مُدركاً، إذ أنه حسبما نرى على الشكل، فإن أطياف مختلف الألوان هي نفسها مستمرة.

الخصيصة الثانية الأساسية أيضاً للعين، والنوعية أيضاً هي ما ندعوه بقاء الانطباعات المرئية. في تجربة فيزو استخدمت هذه الخصيصة المتبقية Remanence، إما لرؤية الإشارة تتألق في مونت مارتر، وإما لرؤيتها تنطفئ عندما تكظم بالفرضات الدائرة. هذه الخصيصة المتبقية للعين التي كان قد اكتشفها القس نولي في القرن الثامن عشر سوف تستثمر في جهاز رائع اخترعه الأخوان لوميير عام 1895: (السينما). مع ذلك فإن هذه التقنية برزت ببطء شديد، ولإتقانها كان لابد من اجتياز خطوات يعود الفضل فيها لأسماء منسية اليوم: ديبوسك (1841)، كوك وبونيلي (1861)، ماكسويل الكبير (1865)، ماري (1882) الذين اقتربوا جميعهم من الحل، ولكن لأهداف علمية بحتة، ابتداء من دراسة الأجسام الدائرة (التي ستؤسس للستروبوسكوبي، Stroposcopie)، وحتى التدقيق في طيران العصافير، دون أن ننسى التطبيق الفني. كتب كاملة كتبت عن هذه الملحمة Épopée. مرة أخرى فإن تطور العقول كان أبطأ من تطور التقنيات. مهما يكن من أمر يمكن القول، دون الخوف من أن نضلل، بأن (السينما) الملونة هي اختراع عين الإنسان. الحيوانات لا تدرك بالتأكيد (الأفلام) الملونة بطريقتنا نفسها ولكنها تدرك مثلنا (فيلماً) بالأبيض والأسود.

4

المثلثـــات السحريـــة

قد يكون علم الفلك العلم الأقدم الذي يفتن خاصة مع سماء غسقية. الأعداد الهائلة من الكواكب تعطي مثل هذا الإحساس بالضخامة بحيث أنها تستدعي فوراً علاقة مباشرة مع الآلهة (والضوء الذي تبثه هو هنا لكي يدعم هذا الإحساس). الضوء ــ علم الفلك ــ الله، هذا الترابط السحري. أليست كل الأديان، بكل أطيافها وتوجهاتها وفي كل الأزمان قد وضعت الآلهة في السماء؟ علم الفلك إذاً، هو عطر إلهي دوماً، والخلط بينه وبين علم التنجيم، خلط أحبط الفلكيين المعاصرين، هو السبب نفسه في هذه الأهمية الهائلة التي استحوذ عليها. كان كلود بتولمي يصنع أجهزة تنجيم فلكية Horoscopes للفراعنة، كما كان يفعل تيكوبراه لملك الدانمارك، وجوهانس كبلر للإمبراطور، أو غاليلي لمجهزي السفن الفينيسيين.

إذا كان ملك إنكلترا قد أقام نُصُباً للفلكي الملكي، وملك فرنسا قد أقام نصباً لجسم من العلماء الخاصين، الفلكيين، فذلك لم يكن من أجل العلم وإنما لأنهم كانوا يريدون هم أيضاً أن يتنبأ لهم بالمستقبل. وعليه فإن الفلكيين المعاصرين يدينون إلى حد ما لعلم التنجيم! (حتى ولو أنهم، مثلي، يشكرون التعسفات الحديثة).

إنه لمن سخرية التاريخ، أن علم الفلك بقدر ما هو بعيد عن التنبؤ بالمستقبل، فإنه يحكي لنا الكثير عن الماضي، ماضي الكون. وهذا، بحد ذاته، يجعله أقل مخاطرة في التضليل، ولكن لابد من القول بأنه رائع.

كواكب ونجوم

في الوقت الذي كانت فيه مراقبة الأجرام الفضائية لا تزال تتم بالعين المجردة، ولكن بمساعدة أجهزة أكثر فأكثر كمالاً ــ أنابيب طويلة مفتوحة أو مغلقة حيث توضع العين في طرفها وموصولة بدوائر خشبية مخصصة لقياس الزوايا في ثلاثة أبعاد والتي كانت أسماؤها شاعرية جداً (أرميل Armel، أسترولاب Astrolabe، دبوس النير Trique trame، أليداد Alidade)، تم التمييز بين الكواكب والنجوم بشكل جيِّد. وكان يعرف، من قبل، وجود أجرام فضائية قريبة وأخرى بعيدة. هذه وتلك كانت تتألق في السماء المظلمة، لكن النجوم كانت ثابتة بينما الكواكب (الأجرام التائهة) كانت تتحرك في عمق السماء. كانت تتحرك وكانت تدور، بعضها بشكل معقد بعض الشيء. من هنا ولدت فكرة، فكرة إجمالاً طبيعية بعض الشيء، هي أن النجوم تتوضع على دارة كبيرة ثابتة، بعيدة، بعيدة جداً منا، في حين أن الكواكب تتنقل في الفضاء الواقع بين الأرض ودوائر النجوم الثابتة (كان يُقال دوائر الثبات). هذا التمييز بين النجوم والكواكب قائم أيضاً حتى يومنا هذا.

إن معيار المسافة هو دوماً صالح للتطبيق بشكل ممتاز، باعتبار أن النجم الأقرب والذي نستطيع رؤيته في الليل، ألفا دو سنتور Alpha du centaure يقع على بعد ثلاث سنين ضوئية* ونصف، في حين أن الكوكب الأبعد، بلوتون Pluton، يقع على بعد خمس ساعات ضوئية (أي أقرب بـــ 6000 مرة).

---

* السنة الضوئية هي المسافة التي يقطعها الضوء في السنة.

ولكن إلى جانب هذا المعيار يضاف معيار ثانٍ أكثر أساسية أيضاً. **الكواكب هي أجرام باردة.** إنها ليست متألقة إلا لأنها تعكس ضوء الشمس. **النجوم،** على العكس، تبث الضوء، إذاً هي أجرام ملتهبة. إنها مراجل نووية عملاقة تقاس درجة حرارتها بملايين أو مليارات الدرجات، وهي تبث في الفضاء كميات هائلة من الطاقة. هذه هي الميزة الأولى التي تطبق في علم الفلك. يضاف إلى كل هذا، ميزة أخرى سهلة الفهم ولكن رئيسية: الشمس نجم، **وحول هذا النجم تدور الكواكب، التي منها الأرض.**

المثلث السحري، أو الأداة الرئيسية للفلكي

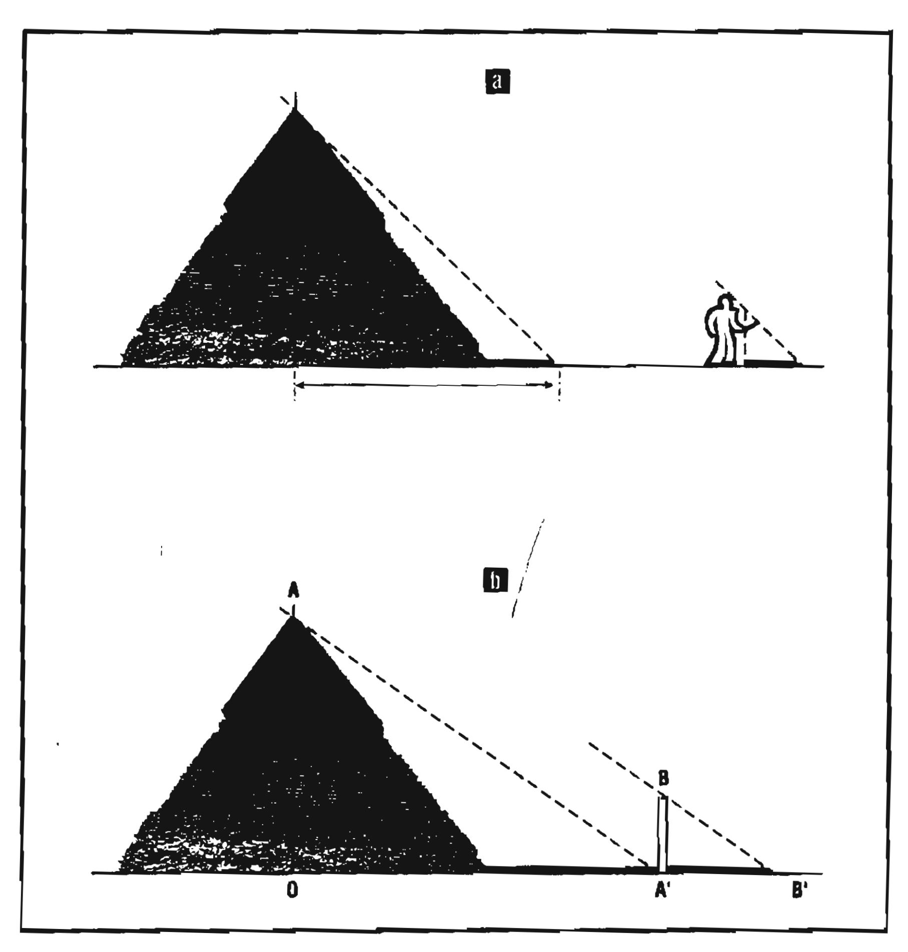
لابد، لفهم علم الفلك النموذجي الذي يلم بكل شيء، من بعض المعارف عن المثلثات وخصائصها. ومع أنني أخاطر بإحباط عدد كبير من القراء، وأنا أعرف ذلك، وكان من الممكن أن أوجه القارئ إلى ملحق بحيث يطلع عليه فقط القراء النهجيون، ولكن وا أسفاه، سأركب الخطر، غير أنني لن أعود بكم إلى قواعد الدراسة ولن أقول لأحدكم: "الزم الصمت، تناول حساءك، تعلم، وسترى لاحقاً أن ذلك مفيد" كلا، سوف أقول لكم بكل بساطة: "المثلثات مهمة". باستخدام المثلثات، فَهِمَ القدامى (اليونانيون، البابليون، المصريون)، أشياء رائعة، ولكم أن تحكموا: قدروا نصف قطر الأرض من على سطحها ـــ ثم المسافة بين الأرض والقمر. بالاستكشاف الأقرب فالأقرب، حددوا المسافة بين الأرض والشمس، ثم قطر الشمس. بوسائل هي عيونهم والمثلثات فقط. أفلا تجدون فيها ما يجعلكم تهتمون بها؟

المفهوم الأول: بين كل المثلثات يوجد واحد يسود الأخرى كلها، هو المثلث القائم، ذاك الذي إحدى زواياه قائمة. ولكن لماذا هو السائد على الآخرين؟ المثلث متساوي الساقين (له ضلعان متساويتان)، والمثلث المتساوي الأضلاع (أضلاعه الثلاثة متساوية)، هي مع ذلك أكثر جمالية

وتناسقاً ستقولون لي، فهذا وذاك يخفيان، إضافة إلى ما سبق، أسرار التناظر. واعجباه! كلا، فأنا أتحفظ، فالمثلث القائم هو الأكثر أهمية. أولاً لأن كل مثلث يمكن أن يقسم إلى مثلثين قائمين. ويكفي من أجل ذلك إنزال عمود من رأس على ضلع (أي ضلع كان). ثم لأنه بمثلث قائم يمكن حساب أمور كثيرة.

قبل 550 سنة قبل الميلاد، أراد الفرعون المصري أماسيس قياس ارتفاع الهرم الكبير كيوبس Khéops لكي يبني واحداً أعلى منه أيضاً. ولكن كيف يمكن قياس ارتفاع هرم وهو جسم مصمت وأوجهه مائلة؟ أشير إليه بوجود رياضي يوناني يعيش في جزيرة ميلت Milet، يقال عنه أنه رائع (عُرِفَ الوسطاء منذ ذلك الوقت). ركب تالس ووصل مصر حيث قادوه إلى مسطح الجيزة. انتظر غروب الشمس ثم أعلن: سأعود عندما يحين الوقت وسأحدد ارتفاع هرم كيوبس (انظر الشكل 1.4)، ثم عاد إلى اليونان تاركاً نبلاء ووجهاء مصر في حيرة كبيرة. ولكن متى ستحين اللحظة؟ بالواقع عاد تالس إلى مصر في أكتوبر وصعد من جديد إلى الجيزة قبل غروب الشمس، وبعد أن قاس ظل طوله، وضع علاماً على الرمل معادلاً للقياس وانتظر. تغرب الشمس في مستوٍ عمودي على إحدى قواعد الهرم الكبير. الظل العملاق الناجم عن الهرم يسقط على الأرض. الظل الصغير جداً لتالس يسقط عليها أيضاً، قال عندئذ للمصريين: عندما يصبح ظلي كطولي تماماً، أي في المكان الذي أشرت إليه بعلام، ضعوا علاماً على الأرض موافقاً لظل الهرم، هكذا تكونون قد قستم ارتفاع الهرم.

هكذا بيّن تالس للعالَم ما معنى مثلثات قائمة متساوية الساقين متشابهة. إنها تمتلك الشكل نفسه، الزوايا نفسها والتناسب بين أضلاعها (العلاقة بينها) ثابت، ولكنها بأبعاد مختلفة. بالواقع لم يكن تالس بحاجة لأن ينتظر حتى



شــكل 1.4

a) الطريقة التي استخدمها تالس لقياس ارتفاع هرم كيوبس. كوّن بأشعة الشمس مثلثين قائمين متساويي الساقين، قاس قاعدة أحدهما.

b) لاحقاً، تبين له أن أي مثلث قائم مشابه يمكن أن يؤدي الغرض بمعرفة ارتفاع وطول أحدهما.

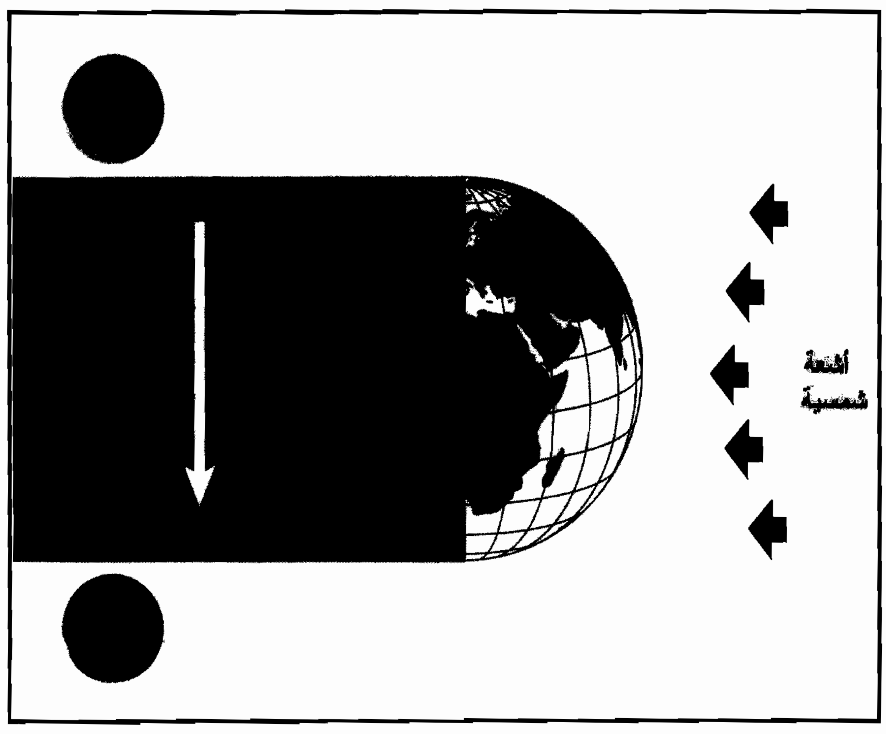
يصبح ظله مساوياً لطوله الحقيقي، وإنما كان بإمكانه القيام بقياسه في كل لحظة. باعتبار أنه فهم ذلك وبرهن عليه لاحقاً. ولكن ذلك لا يهم فالتاريخ جميل*. سمحت نظرية المثلثات المتشابهة هذه بالبرهان بسهولة على أن

* أندريه بيشو، ولادة العلم، 2. اليونان قبل سقراط، باريس، غاليمارد: "تجارب فوليو"، 1991.

قيمة زوايا مثلث تساوي زاوية مستقيمة (أي 180 درجة). بعد قليل من الوقت، برهن فيثاغورث نظرية ثابتة أساسية في الرياضيات "**في مثلث قائم، مربع القاعدة يساوي**، إذا لم أكن مخطئاً، **مجموع مربعي الضلعين الآخرين**". ينظر إلى هذه النظرية كآثار خالدة، ومع ذلك فإن البرهنة عليها يمكن أن تتم بطريقة غاية في البساطة باستخدم إنشاءات هندسية. جملة خصائص المثلثات هذه ستكون أساسية في علم الفلك. لنحفظ هذه الفكرة. يكفي، في مثلث قائم معرفة عنصرين (زاوية وضلع) لحساب كل العناصر الأخرى.

النقطة الثالثة: في مثلثٍ قائمٍ ما نستطيع قياس الزوايا اعتباراً من كلمتين /تثير الارتعاد/، ولكن أرغب بمساعدتكم لتتآلفوا معها: الجيب والتجيب Le Sinus et le Cosinus. لنبدأ بالجيب. تخيل أنك تصعد على طول طريق مائلة بانتظام، فعندما تقطع مسافة 1 (1000م) على طول هذه الطريق فإنك تكون صعدت ما يعادل الارتفاع h (100م). وعليه فإن جيب زاوية ميل الطريق هو بكل بساطة النسبة 1/h، وفي مثالنا 0.1=100/1000. في جدول لحساب المثلثات (النتيجة مبرمجة في أيامنا هذه في جميع آلات الحساب أو في معظمها تقريباً)، ستتأكد أن الجيب يعادل 0.1، إذاً فإن ميل الطريق هو 6 درجات (يمكن التأكد من ذلك). أما إذا لم نصعد الطريق فإن الميل يكون مساوياً للصفر، وبالطبع h أيضاً. بمعنى أنك لست مرتفعاً في نهاية الـــ 1000م عنك في البداية. إذا كان الانحدار يعادل 30°، فإن الجيب يعادل 0.5: في نهاية الـــ 1000م تكون قد تسلقت ما يعادل 500م. وإذا ما رغبت، بدلاً من قياسك مقدار صعودك، أن تقيس كم تقدمت أفقياً (المعبر عنه بالمقدار x)؟ يمكنك ذلك اعتباراً من جيب الزاوية المعتبرة، وليكن x/1. وهكذا أصبحت تعرف كل شيء، وتستطيع أن تتأكد أن ذلك ليس بهذه الصعوبة.

انطلاقاً من ذلك قاس الفلكيون مقادير هائلة. نصف قطر الأرض؟ إيراتوستين قام بذلك (انظر الفصل 10). ثم، بالاستناد إلى خسوف القمر، أمكن قياس العلاقة $\frac{\text{قطر القمر}}{\text{قطر الأرض}}$ وبالتالي تقدير قيمة قطر القمر...إلخ. انظر الشكل (2.4).



شـــكل 2.4

حين خسوف القمر بواسطة الأرض، تقاس المدة التي يحتاجها القمر لقطع نطاق ظل الأرض. إذا عرفنا سرعة دوران القمر حول الأرض، يمكن استنتاج أبعاد القمر بالنسبة لنطاق ظل الأرض، إذاً بالنسبة لقطر الأرض.

حركة الكواكب: كوبرنيك ضد بتولمي

في كتب عديدة، علمية أو غيرها، يتم الحديث عن الثورة الكبرى التي حققها كوبرنيك في عام 1543. هذه **الثورة الكوبرنيكية** ستحدد، حسب

كثيرين، بداية العلم. وبرأيي فإن كوبرنيك نال كثيراً من الشرف، يمكن تفسيره أولاً بأنه كان كنسياً (إكليرويسياً)، وأن الكنيسة التي كتبت، من خلال رهبانها، جزءاً كبيراً من التاريخ، أرادت أن تجعلنا نعتقد، بالرغم من الدعوة المقامة على غاليلي، أنها كانت محركاً هاماً للتقدم العلمي*. اقترح نيكولا كوبرنيك في عام 1534 تفسيراً للعالم يقضي بأن الأرض تدور حول الشمس لا العكس، بعكس النظريات المعتمدة حتى ذلك الحين والتي تعود لليونانيين، لأرسطو أولاً ثم لبتولمي. بالنسبة لكوبرنيك فإن مركز العالم كان الشمس لا الأرض وهكذا ظهر مفهوم نظرية مركزية الشمس Héliocentrique (Hélio: الشمس باليوناني)، بالتضاد مع نظرية مركزية الأرض Géocentrique (Géo: الأرض باليوناني)، التي حسبها فإن الشمس تدور حول الأرض. البراهين المقدمة معروفة جيداً: اعتماداً على نظام مركزية الأرض فإن الشمس ترتفع في الشرق، وتكون أعلى ما يمكن في السماء ظهراً وتغيب في الغرب، وهكذا فإنها تدور بشكل واضح حول الأرض، التي، ربما أنها المركز، تكون ثابتة تحديداً**.

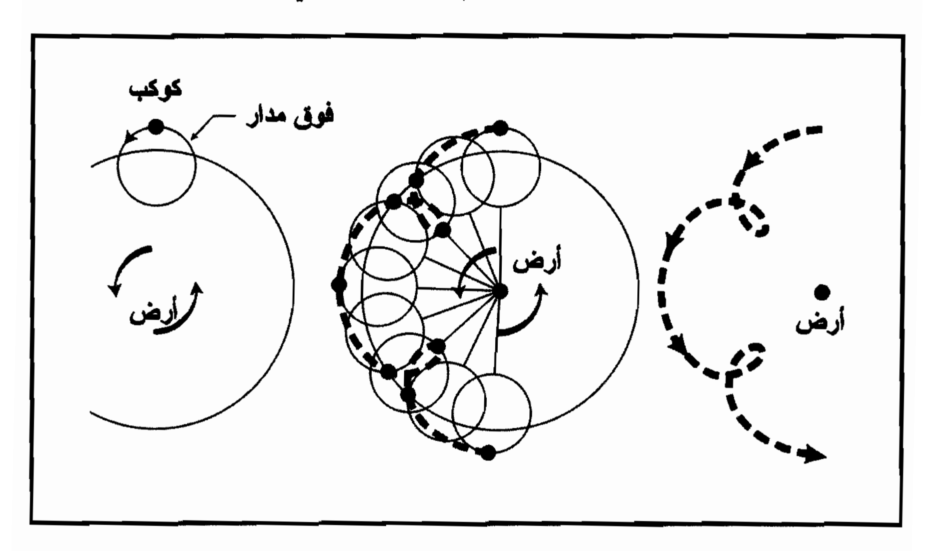
الكواكب الأخرى تدور هي الأخرى حول الأرض. هذه الرؤية للأشياء بهذا الشكل جعلت الأرض المركز الثابت للعالم، مركز الكون. الأرض، موطن الكائن المركزي للكون، الإنسان، هكذا كانت وجهة نظر أرسطو الذي أزال الشكوك التي عبر عنها فيثاغورث، ومن قبلُ أستاذه بلاتون. ولكن كان لابد من مجيء يوم يتم فيه تجاوز المظاهر، وصياغة

---

* بشكل غير مباشر فإن ذلك غير قابل للطعن!.

** ثبات الأرض هذا كان ضرورياً للبرهنة على دوران الشمس حول الأرض، لأنه إذا كانت الأرض تدور فليس من الضروري أن تدور الشمس. من أجل ذلك، وبمناسبة المعارك العلمية، وخاصة تلك التي أقحم فيها غاليلي، تم الطعن الكلي بحركة الأرض حول نفسها كما بحركتها حول الشمس. ولهذا السبب فإن هاتين الحركتين يساورهما خلط ولَبْس.

نظرية متقنة، لشرح حركات الكواكب تلك التي نرقبها في السماء العاتمة. وهذا ما قام به كلود بتولمي الذي كان يعيش في الإسكندرية في زمن البتولميين Lagides (90–168). عبر بتولمي عن ذلك بصيغة متقنة جداً بمساعدة إنشاءات هندسية غاية في الدهاء تقوم على دوائر هي نفسها حول دوائر أخرى (انظر شكل 3.4). كان الإنشاء الذي أعده بارعاً بحيث سمح له التنبؤ بحركة الكواكب في السماء بدقة كبيرة جداً. وبفضل ذلك حصل على أموال كثيرة من صناعة... منجمات فلكية Horoscopes. صارت نظرية مسارات الكواكب والشمس التي تدور حول الأرض، العقيدة الرسمية للكنيسة المسيحية حتى القرن الثامن عشر، وأيضاً حتى بداية القرن التاسع عشر. بالنسبة للعلماء أنفسهم، فقد غيروا رأيهم منذ القرن الثامن عشر بفضل أعمال عملاقين من عمالقة العلم: كبلر وغاليلي.

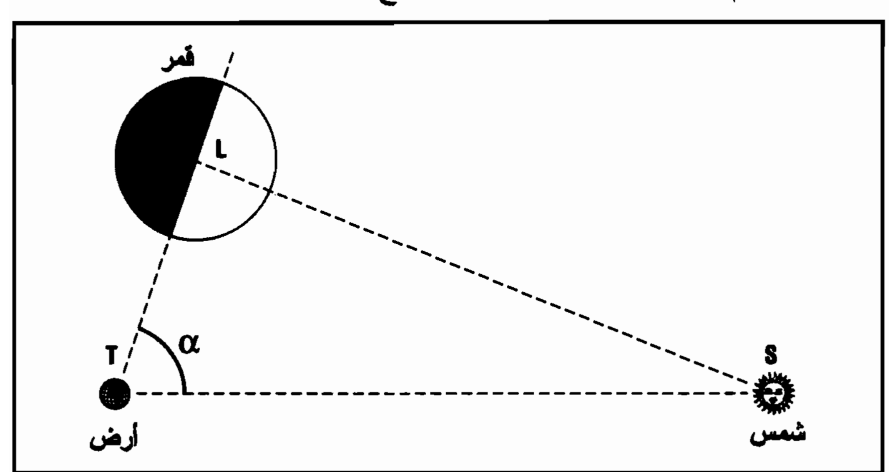


شـكل 3.4

إنشاء تخيله بتولمي في جملته مركزية الأرض، لإيضاح مسارات الكواكب المرئية من الأرض. تخيل مداراً، وعلى هذا المدار دائرة صغيرة تدور، والكواكب مربوطة مع الدائرة الصغيرة. إلى اليمين المسار النهائي الذي تم الحصول عليه (والذي يشبه كثيراً مدار عطارد).

أريســـتارك

ومع ذلك، وقبل بتولمي (ولكن قبل أرسطو، 384-322 قبل الميلاد) كان قد اقترح يوناني آخر هو أريستارك دو سامو (310-230 قبل الميلاد)، فكرة أن الأرض هي التي تدور حول الشمس لا العكس، وذلك انطلاقاً من أسس جدية جداً بحيث يمكن نعتها بالعلمية، بطريقة مثلثاتية (أيضاً)، حيث حسب أريستارك المسافة التي تفصلنا عن الشمس. لاحظ أنه عندما يكون القمر في نصفه، تكون الأشعة الصادرة عن الشمس عمودية على المستقيم الواصل بين الأرض والقمر (انظر شكل 4.4). وبتحديد مكان اختفاء الشمس، تمكن من إنشاء مثلث قائم تعرف منه زاويتان. وبمعرفة المسافة بين الأرض والقمر، المقدرة هي أيضاً بتطبيق مثلثاتي (يكفي معرفة بُعد القمر والزاوية التي نراه بها)، استطاع حساب المسافة مع الشمس. وجد أن بعد الشمس عن الأرض أكثر بـــ 19 مرة من بعد القمر عنها. الحقيقة أن الشمس تبعد 400 مرة أكثر. ولكن أريستارك لم يكن بحوزته أداة لقياس زوايا قريبة من 90 درجة بدقة، ونفهم لماذا كان خطؤه كبيراً هكذا. وهكذا فإن تقديره لم يكن دقيقاً، ولكنه كافياً ليسمح له التأكيد بأن الشمس، الواقعة



شـــكل 4.4

مبدأ تحديد مسافة الشمس عن الأرض من قِبل أريستارك باستخدام مقاربة نصف القمر.

بعيداً جداً، يجب أن تكون كبيرة جداً (إذا كانت أبعد من القمر 20 مرة، ولكن لها القطر الظاهري نفسه، أي أن قطرها أكبر بعشرين مرة بكل بساطة)، وبالتالي إذا قبلنا بأن الشمس كانت تدور حول الأرض فمعنى ذلك أن الجسم الأكبر جداً يدور حول الأصغر، وذلك بسرعة دورانية. أي نظرية ثورية هذه؟! إنها كافية على كل حال لاتهامه بالإلحاد، فأقيمت ضده دعوى، ولاتهامه جيء خصيصاً، من أثينا، بسفسطائي هو كليانتر. اختفى أريستارك في الوقت المناسب ولم تعرف أخباره البتة.

كـــوبـــرنيـــك

تمر القرون... ليأتي راهب بولوني، هو نيكولا كوبرنيك (1473-1543)، الذي نبش نظرية أريستارك وراح يكوّن نموذجاً للمجموعة الشمسية مفترضاً أن جميع الكواكب (والأرض منها) تدور حول الشمس بفضل مدارات دائرية، في الوقت الذي تدور فيه هي حول نفسها. كل ذلك بالطبع، بهدف أساسي، هو التوصل إلى التنبؤ بحركة الكواكب المرئية في السماء بشكل أفضل من بتولمي. باستخدام دوائر فقط فإن جملته لم تَسِرِ على ما يرام، فلجأ هو الآخر إلى مبدأ الدوائر الصغيرة الدوارة حول دوائر أكبر، لأن ــ كما نرى من الأرض ــ جميع حركات الكواكب لها مسارات معقدة، وأي منها لا يشبه قطعاً مكافئاً بسيطاً. باختصار، كوَّن هو الآخر، ورشة ساعاتي حقيقية. بالمحصلة صنع كوبرنيك جملة معقدة كتلك التي لبتولمي، غير أنه وضع الشمس لا الأرض في مركزها. لا نستطيع القول أن عمله كان مع ذلك مسهلاً. لاسيما وأن جداوله عن التوقع بحركات الكواكب كانت أقل جودة من تلك التي حسبها بتولمي لأنه بالتأكيد كان أقل اتقاناً.

كان الراهب كوبرنيك يعيش في وسط من الخوارنه والمطارنه ، حياة ظريفة ومريحة، غير متأكد من أصداء نظريته على الكنيسة والعقول الفكرية، وهكذا وضعها في أدراجه. ولكن أحد المتدربين الشباب ـ بروتستانتي اسمه ريتيف ـ وجد أن فكرته عظيمة، فقرر أن ينشر منها بعض المقتطفات: استقبال مهذب لا أكثر. تحت ضغط ريتيف، قرر كوبرنيك أن ينشر عمله بالكامل. استعد لنشره عندما... مات. كان ذلك في عام 1543، فظهر المؤلَّف بعنوان De révolutionibus، ولكن لم يسترعِ انتباه أحدٍ إلا قليلاً بما في ذلك الكنيسة. فقط البروتستانت، الذين استقلوا لتوهم عن الفرع الأم، ثاروا ضد الكتاب: لوثر، كالفن، ميلانكتون كل منهم راح يردد مقاطع من أغنية الانتقام واصفين إياه بالمجنون الخطير. ولكن ما من ردود للكنيسة الكاثوليكية. كان كوبرنيك راهباً ولم يُعِر أحد من محيطه أيَّ اهتمام لكتابه... ويبدو أن جنته الأفضل كانت الصمت... قضية ستتابع...

تيكـــوبـــراه

يُعدُّ الدانمركي تيكوبراه أمير المراقبين الفلكيين. تخيـــل أن مراقبتـــه للسماء، سواء بقصد مراقبة الكواكب، أو انفجار سوبرنوفاي Supernovae، أو المذنبات لاتزال مدونة في الفهارس الفلكية مع أنهـــا أنجـــزت بـــالعين المجردة منذ أربعمائة سنة! (سبق غاليلي تيكوبراه في اكتشـــاف المنظـــار الفلكي بعدة سنوات فقط وذلك اعتباراً من عام 1609، وبالطبع فإن ذلك يعد خسارة للعلم). كان هذا الإنسان شخصية أسطورية من النـــبلاء، متكبـــر، محقر وظالم، ديناميكي، مبادر، متحمس ونجح في إقناع ملـــك الـــدانمارك فريدريك الثاني بأن يبني في جزيرة ملائمة للفلك، مركز مراقبـــة أســـماه أورانيبورغ Uranibourg.

في هذه الجزيرة، وفي أبنية خلابة، كان محاطاً بالعديد من المساعدين والخدم، وكان يحكمهم بطريقة ديكتاتورية وحتى فظة، وقد أقام تجهيزات

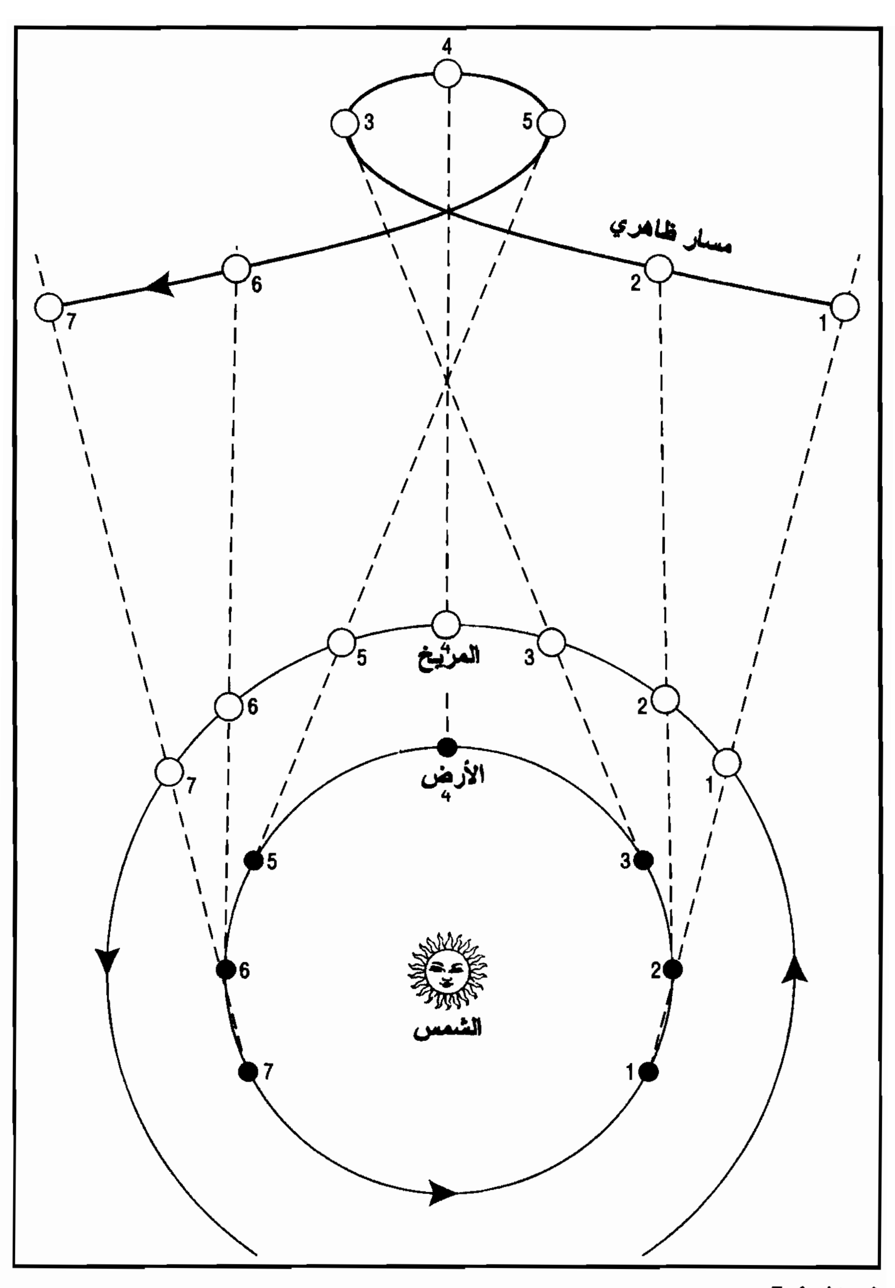
توجيه ورصد، فتراكمت لديه ملاحظات قيّمة عن السماء ملأ بها دفاتر كاملة بالأرقام والرموز والملاحظات التي لا تقدر بثمن، فشكلت جميعها لاحقاً جداول أورانيبورغ وفهارس الملاحظات الفلكية الشهيرة من بين كل ما تم إنجازه. ولكن لماذا اهتم ملك الدانمارك فريدريك الثاني كل هذا الاهتمام بالفلك؟ الجواب هو نفسه دوماً، وهو لتصنيع منجمات فلكية والتنبؤ بالمستقبل، فكان تيكوبراه يكرس نفسه لذلك بشكل منتظم في أوقات قصيرة وأخرى طويلة. مع الأسف فإن خَلَفَ فريدريك، كريستيان، لم يكن يهتم بالفلك بهذا الشكل وبما أن تيكوبراه أصبح غير محتمل ومتطلباً، فقد قام بقطع معيشته، وهكذا غاضباً وحانقاً، غادر تيكوبراه الدانمارك.

انتهى أورانيبورغ، انتهى موكب العبيد. ولكن تيكوبراه وجد سريعاً مأوى له عند الإمبراطور رودولف، هو الآخر قلق لمعرفة مستقبله، والذي أحدث وظيفة رياضي وفلكي إمبراطوري (أيٌّ لقب جميل هذا؟!)، وسمى تيكوبراه به، مجهزاً إياه بإقامة جميلة فأعطاه قصر بناتكي Benatky في التشيك. في هذا الوقت كان تيكوبراه قد وصل إلى منعطف، فقد تحقق من سبب دوران كل الكواكب حول الأرض مفترضاً قضايا رياضية يصعب حلها، ولكن من جهة أخرى تخلى عن فكرة دوران الشمس حول الأرض التي كانت بالنسبة إليه صعبة جداً. في هذا الجو من الظروف، التي تضعنا بين نارين، يتم اللجوء إلى حلول توافقية. عندما يكون لدينا من جهة الراديكاليون ومن الجهة الأخرى الاشتراكيون يتم إيجاد ما يُعرف بالراديكاليين ــ الاشتراكيين، وهذا ما قام به تيكوبراه، إذ قام باختراع نظام مُهجَّن، ليسبق بذلك الذي لبتوليمي أو ذاك الذي لكوبرنيك، إنه مركب، خليط من الاثنين: الكواكب تدور حول الشمس ولكن الشمس (مع كواكبها المرتبطة بها) تدور هي نفسها حول الأرض. نظام قال عنه غاليلي لاحقاً: إنه كابن زنى. ثم إن إحدى ملاحظات تيكوبراه لا تتوافق مع نظامه، هي

حركة كوكب المريخ كما يرى من الأرض. إنها حركة غريبة، كحرف Z (انظر الشكل 5.4)، حيث يبدو المريخ يتقدم ثم يتراجع ثم يتقدم أيضاً فكيف يمكن تفسير ذلك؟ كان تيكوبراه متردداً حائراً، فهو لا يفهم. هنا يخبرونه عن شاب رياضي لامع جداً ومهتم جداً بعلم الفلك، "ولكن المقصود هنا نمساوي بروتستانتي، أستاذ ــ وما الضير؟ أجاب تيكوبراه: إذا كان لامعاً، فلنتصل به ولنحدد له موعداً هنا في بناتكي. وبالمناسبة ما اسمه؟ جوهان كبلر، أستاذ وعمره 28 سنة.

هكذا أصبح كبلر في عام 1601 مساعداً (معيداً) لتيكوبراه، عاقداً صفقة خداع رائعة. كان تيكوبراه قد طلب مجيء كبلر لحل مشكلة مدار المريخ، ولكن بالطبع ضمن إطار نظامه مركزية الشمس. أما كبلر فكانت لديه مشاريع أخرى. فقد فهم في ذلك الوقت أن نظام مركزية الشمس هو دون شك الأكثر احتمالاً، ولكن بشرط إجراء تعديل طفيف على النظام الذي أعدَّه كوبرنيك. وهكذا راح يعمل عند تيكوبراه لسبب بسيط يكمن في الإطلاع على آلاف الملاحظات الفلكية التي كان تيكوبراه ومساعدوه العديدون قد جمعوها، والتي ستسمح له دون شك بالبرهنة على صحة نظامه هو، الذي يعتقد به، نظام مركزية الشمس الشامل. كانت الأشهر الأولى من العمل صعبة جداً حيث كانت هاتان الشخصيتان القويتان تتصادمان وجهاً لوجه. كان تيكوبراه رَبَّ العمل ولكن كبلر كان يقاوم. غير أنه، منهك، متعب، من هذا المعلم الظالم. غادر فجأة بوهيميا ليلتحق بعائلته في النمسا. لكن تيكوبراه، رغم جنون العظمة لديه، اعترف بأن كبلر عبقري فرجاه أن يعود واعداً إياه بالهدوء والحرية. وهكذا بعد كثير من التردد قرر كبلر العودة.

في هذا الوقت انعقدت بين الرجلين صداقة كبيرة. بدأ تيكوبراه يصغي لكبلر ويحاجه بالطبع، ولكنه كان مشوشاً في نظريته عن مركزية الشمس

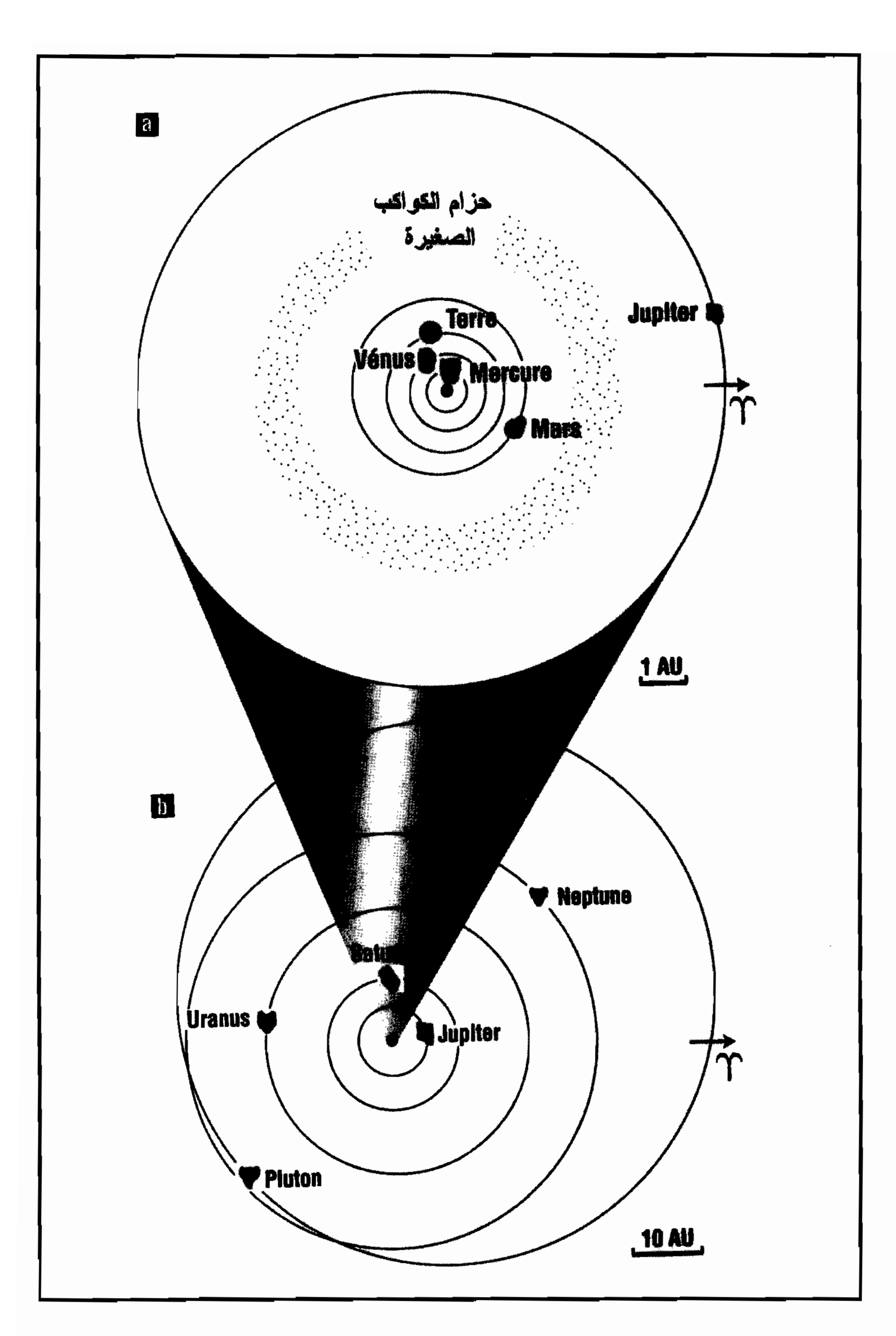


شــكل 5.4

في الأعلى مدار كوكب المريه كما يرى من الأرض. في الأسفل تفسير الحركة النسبية للأرض والمريخ.

الأكثر دقة، الأكثر برهاناً مما قاله كوبرنيك. ألم ينجز هو نصف الطريق عندما جعل الكواكب كلها، ما عدا الأرض، تدور حول الشمس؟ ولع فكري حقيقي، حمل الرجلين، كل منهما على حدة، على كتابة صفحات مثيرة عن تعاونهما. مع الأسف فإن هذه الفترة من الغزل بينهما لم تدم طويلاً، إذ يموت تيكوبراه فجأة بحصر البول. حل كبلر محله في وظيفة فلكي إمبراطوري، وطبقاً لرغبة تيكوبراه فإنه ورث جداول ملاحظات غنية. أكمل كبلر إذاً عمل سابقه ونشره عام 1609 حيث صاغ وبرهن على قوانينه المشهورة، منتصراً لنظام مركزية الشمس. **تدور الكواكب حول الشمس في مدارات بشكل قطوع مكافئة حيث الشمس إحدى بؤرها. تتم حركة الكواكب بحسب إيقاع مستقر، عندما تكون في الجزء القريب من الشمس تتسارع، وعندما تبتعد عنها أكثر ما يمكن تكون أبطأ** (يقال بأسلوب أكثر تطابقاً مع القوانين الرياضية أن السطوح الممسوحة بنصف قطر الشعاع ــ أي المستقيم الواصل بين الكوكب والشمس ــ هي دوماً نفسها من أجل واحدة الزمن نفسها!) هذا هو قانون السطوح. **أدوار دوران الكواكب تتوقف على تباعدها عن الشمس: كلما كانت قريبة منها، كان دورانها سريعاً** (أعطى كبلر الصيغة الدقيقة لهذا الارتباط). أضاف إلى ما سبق أن **كل الكواكب تدور في المستوى نفسه، وأنها تدور أيضاً حول نفسها وأن كل هذه الدورانات تتم في الاتجاه نفسه.**

يُعدُّ هذا الكتاب أجمل الأعمال العلمية التي أُنجزت حتى تاريخه، دونما حاسوب أو آلة حاسبة! أُنجزت آلاف ساعات الحساب يدوياً، وكل ذلك للكشف عن مفتاح تأكيد أن المدارات هي بشكل قطع مكافئ. عندما نراقب الآن مداراً للكواكب كما يُرى من الكوكب القطبي، نتأكد أن القطوع المكافئة الشهيرة التي حددها كبلر هي بالواقع تقريباً دوائر، ولكنها ليست كذلك (شكل 6.4). كان لابد من عبقري ليرى ذلك الفرق الصغير الذي سيجعل الأمر مختلفاً.



شـــكل 6.4

شكل ترسيمي يوضح (الموديلات) المتتالية لبتولمي (a) وتيكوبراه (b).

كان دور غاليلي برأيي أيضاً كبيراً وعظيماً في الفلك كما في الفيزياء. في العلم الذي يشغلنا هنا طوَّر حقيقةً المنظار الفلكي. أولاً بتحسين ذلك الذي كان مخترعاً سواءً في باريس أو أمستردام، وثانياً من خلال فكرة توجيهه نحو السماء. سيقول أحد ما في القرن التاسع عشر "لم يخترع غاليلي المنظار ولكنه اخترع ما هو أهم أيضاً: كيف يستعمل؟" وهذا صحيح. ومع ذلك فهذا التحديث جلب له كل الأوجاع التي نعرفها. درس غاليلي على مدى وقت طويل في جامعة بادوفا نظرية كوبرنيك بالتوازي مع تلك التي لبتولمي، ولكن دون أن يأخذ موقفاً (رسمياً) لصالح هذه أو تلك، ولكن اعتباراً من عام 1609 غيَّر مواقفه، وفي هذا الوقت بالذات اخترع المنظار الفلكي وأداره باتجاه المشتري، حيث اكتشف حينها أربعة أقمار صغيرة تدور حول هذا الكوكب الكبير، ألم يكن يمتلك البرهان على أن، في الطبيعة، الأقمار الصغيرة تدور حول الكبيرة؟ اعتباراً من هذه اللحظة سيأخذ موقعاً ويدافع رسمياً عن نظرية كوبرنيك، نظام مركزية الشمس. ولكن يجب البرهنة على أن الأرض تدور حول نفسها. إذاً من أجل ذلك سيضيف إلى ملاحظاته لأقمار المشتري، دلالاتٍ مطلقةً بشأن المدود الأرضية (طغيان البحر على اليابسة)، أضعفت ملفه العلمي. كل هذا جلب له المتاعب مع محكمة التفتيش Inquistion، كما هو معروف، وإقامة دعوى مدوية في عام 1633، التي كان عليه خلالها أن يرفض علنياً المركزية الشمسية*. ما يؤسف عليه اليوم، أن غاليلي لم يُعِر اهتماماً ما لكتاب كبلر. هذا الكتاب كان قد نشر في عام 1609، في العام نفسه الذي كان يوجه فيه غاليلي منظاره إلى السماء. بالرغم من أن كبلر قد أرسله له مع إهداء مُطْرٍ

---

* انظر كلود أليغر، لو أنني دافعت عن غاليلي، باريس، بلون، 2003.

إلا أنه لم يقرأه (كما قيل) وأهمله (كما هو مؤكد). ومع ذلك كان هناك ما من شأنه إيضاح الحقيقة، تلك المصادفة الغريبة المتمثلة بأن علم الفلك النظري (كبلر) وعلم الفلك المبني على الملاحظة (غاليلي) قد وُلدا في السنة نفسها. ثم، وكما ذكرنا سابقاً، جاء نيوتن فيما بعد.

حديقة الحيوانات الفضائية

يعدُّ الفلكيون أنفسهم أنهم أعلى مرتبة من علماء علم الحيوان (مثل فيزيائيي الجزيئات)، مع ذلك فإن الفلكيين وفيزيائيي الجزئيات، شغلتهم بالدرجة الأولى فهرسة ثم تصنيف الأشياء التي يراقبونها مثل علماء علم الحيوان. أريد بهذه المناسبة أن أعيد الاعتبار لمسألة التصنيف التي تبدو للكثيرين كنوع من تمرين "المشي" المخصص لأصحاب العقول المحدودة. مع ذلك لا يوجد مثال في تطور علم المجموعات المعقدة (وحتى البسيطة) إلا وتبدأ المسيرة العلمية فيه بتصنيف للملاحظات أو للأشياء الملاحظة.

في الرياضيات تم تصنيف الأشكال الهندسية ــ مستقيمات، دوائــر، مثلثات، مستطيلات، مربعات،.. إلخ ــ تم تصــنيف الأرقــام المزدوجــة، المفردة، الأولية.

في فيزياء الجزيئات يفرقون مــن الآن فصــاعداً بــين نترونــات وبرتونات، الأعداد الكسرية، الأعداد الحقيقية، المعادلات التفاضلية، قطوع مكافئة، قطوع زائدة، خطية ولا خطية.

في فيزياء الجسيمات، يفرق من الآن فصاعداً بين الهادرونات* والليبتونات والكواركات حسب "لونها" أو حسب جاذبيتها".

---

* Hadron: جزيئات عنصورية ثقيلة = النيوترونات والبرتونات، Leptones، الإلكترونات، Quark جزيئات مشحونة كهربائياً تكوّن الجزئيات الثقيلة (البروتونات والنترونات). **المترجم**

في علم الحيوان لم تكن لتوجد لا نظرية التطور، لا علم الوراثة ولا أخيراً البيولوجيا الجزيئية، لولا تصنيف الكائنات الحية لكل من ليني، بيغون، جيفروا سانت هيلير وآخرين. في علم الفلك سنرى الشيء نفسه، عندما تكون التصنيفات منفذة بشكل جيد تُثار النظريات، وأجرؤ على القول أن الترقب يستمر أيضاً في أيامنا هذه.

الهرمية الفلكية، كما ندركها اليوم، تتكون من ثلاثة مستويات. **الكواكب** ــ وهي أجرام، كما ذكرنا ــ لا تولد ضوءاً، فهي إذاً باردة. هذه التي ترى مباشرة هي التي تدور حول الشمس، ولكن بشكل غير مباشر، من خلال الاضطرابات التي تثيرها، اكتُشف حديثاً وجود كواكب خارج المجموعة الشمسية، وتدور حول نجوم أخرى تسمى كواكب خارجية Exoplanètes. هذا المجال من البحث يفترض أن يسطع في السنوات القادمة.

تقسم كواكب المجموعة الشمسية إلى صفين. **الكواكب الداخلية** والتي تسمى أيضاً **أرضية** Telluriques وهي التي تكون قريبة من الشمس وطبيعتها صخرية بشكل أساسي وتشمل: عطارد، الزهرة، الأرض، المريخ. يرتبط بالأرض تابع هو القمر. ويتبع المريخ اثنان هما فوبوس Phopos وديموس Deimos. تتكون هذه الكواكب من صخور صلبة قاسية محاطة، قليلاً أو كثيراً، بأغلفة جوية رقيقة. **الكواكب الخارجية** المسماة أحياناً عملاقة: المشتري، ساتيرن، نبتون، أورانوس وبلوتون، جميعها مكونة في غالبيتها من غاز قليل أو كثير الانضغاط. تركيبها الكيمائي بعيد بعض الشيء عن تركيب الشمس ــ هيدروجين، هيليوم، قليل من الكربون والآزوت ــ جميع هذه الكواكب العملاقة لها توابع عديدة تدور حولها

وكذلك لها هالات مكونة من قطع من الصخور بحجوم مختلفة. كان يعتقد قديماً أن ساتيرن فقط محاط بمثل هذه الهالات ولكن الاستكشاف الفضائي بيَّن أن جميعها لها مثل هذه الهالات. إن هذا الاستكشاف الفضائي للكواكب كان مغامرة علمية رائعة، تم فيها القيام بعمليات متنوعة: وزن، إصغاء، قياس، تصوير، وكثير من التصوير لكل الكواكب كثير جداً، وفي كل الاتجاهات. الأرض، أرضنا، من الآن وصاعداً هي بين أخواتها. هذا الاستكشاف الكواكبي سيشكل بحد ذاته موضوعاً... لما سيأتي لاحقاً.

النجوم: وهي بعكس الكواكب، أجرام ملتهبة تصدر ضوءاً كثيفاً. الشمس هي نجم من بين نجوم كثيرة، كثيرة أخرى. أعدادها كبيرة جداً في الكون بحيث أن دراستها، تصنيفها ومعرفتها فرضت وتفرض دوماً على الفلكيين اختيارات مزعجة.

المجرّات: هي تشاركات أو مجتمعات من النجوم. بُذل وقت طويل جداً لفهم طبيعتها، لأنها عندما تكون بعيدة، تبدو في السماء كنقاط بسيطة مضيئة، بطريقة مشابهة تقريباً لمدينة عندما تصور من تابع (ساتل: أي قمر صنعي) كنقطة مضيئة.

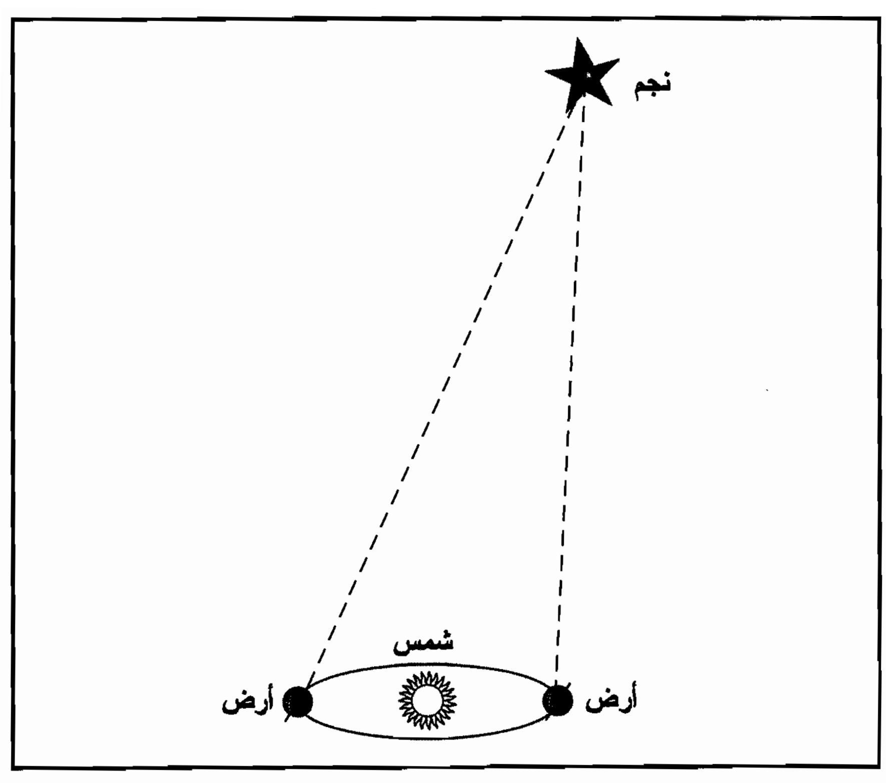
تصنيف النجوم

في الهرمية البنيوية، التي خلصنا من إثارتها أعلاه، النجم أساسي وحوله تدور الكواكب، وهي مكونات المجرات. وهذه الأخيرة توجد بأعداد كبيرة بحيث لا يعرف من أين يبدأ؟ الجواب: بالشمس، بالطبع، ولكن ماذا بعد؟ ربما أن الفلكي خاضع، أكثر من غيره من العلميين، لوسائل الملاحظة التي يملكها. كان تيكوبراه يعمل بالعين المجردة. غاليلي اخترع المناظر واخترع نيوتن التلسكوب ذا المرآة. بونسن وكيرشوف اكتشفا أسرار

الأطياف المجهرية الضوئية، أي تحلل الضوء القادم من الشمس والنجوم، بفضل استخدام موشور موضوع خلف التلسكوب. ويمكننا منذ الآن، بوضع جهاز تحليل طيفي Spectrographe (موشور بادئ الأمر ومن ثم ما ندعوه شبكة)، في بؤرة تلسكوب، رصد نجم وتحليل ضوئه.

يتميز ضوءٌ ما بخاصتين نوعيتين اثنتين ــ الأولى شدته. فضوء ما يضيء قليلاً أو كثيراً (حبابة زجاجية، شدتها 100 واط تضيء أكثر من قنديل). الشدة هي الترجمة الكمية لهذه الخاصية. الخاصية الثانية المعبرة هي تركيب طيفه الضوئي. كم من الأهداب؟ أية أهداب؟ ما هو اللون السائد؟ هذا الطيف الضوئي سوف يخبرنا عن ميزتين أساسيتين للنجم، درجة حرارته من جهة، وتركيبه الكيمائي من جهة أخرى. العلاقة بين تركيب كيمائي وطيف ضوئي تم إيضاحها سابقاً. أما تلك التي تربط الحرارة باللون فهي أكثر إلفة بالنسبة لكل منا. فمعروف أنه عندما نسخن صفيحة فإنها تكون حمراء قاتمة، ثم حمراء كرزية، قبل أن تتحول إلى الأزرق ثم أخيراً إلى الأبيض. يمكن معايرة هذه الألوان بالحرارة.

في بداية القرن العشرين باشر فلكيان، الأول هو روسل، والآخر دانماركي هو هرتزبرنغ، تصنيف النجوم الفضائية باستخدام معيارين: اللون (أي درجة حرارة السطح)، والشدة الضوئية، السطَعان. يمكن قياس اللون مباشرة باستخدام جهاز التحليل الطيفي (أو المتري). ولكن كيف يمكن قياس سطعَان نجم بعيداً جداً في الفضاء؟ معروف أنه كلما كان الجسم بعيداً كان أقل بريقاً، إذاً كيف نفعل لكي نقيس سطعَان النجوم البعيدة؟ الأولوية، بالطبع، هي لقياس مسافة النجم. ولكن كيف يتم ذلك؟ (انظر شكل 7.4). بالطبع، باستخدام المثلثات كما هو دوماً. ولكن هذه المرة، لن نعتمد كخط



شـــكل 7.4

مبدأ قياس بعد النجوم بالطريقة التي تعرف بزاوية اختلاف الموضع.

أساسي، قطر الأرض، ولكن قطر المدار الأرضي. إذاً سوف نرصد النجم في يومين يفصل بينهما ستة أشهر (مثلاً في 21 كانون أول وفي 21 حزيران)، حيث نقيس الزاوية الحاصلة بين الاتجاهين المرصودين ثم نحسب المسافة*. مع الأسف لا نستطيع بهذه الطريقة الهندسية حساب أكثر من 100 سنة ضوئية.

لحسن الحظ أنه في عام 1908 حقق الفلكي الأمريكي هينريتيا ليفيت اكتشافاً رائعاً. فقد درس نجوماً خاصة، السيفيدات Céphides التي تقدم

* المسافة بين الأرض ــ الشمس = 1 وحدة فلكية (Unité Astronomique, UA).
UA=3.262 سنة ضوئية = 146 مليون كيلو متر.

صفات خاصة. تسطع، تعتم، تسطع من جديد، باختصار كأننا بصدد غماز نجمي حقيقي ومضاته منتظمة جداً. بيَّن هينريتيا، بعد أن درس 25 نجماً منها، أن تلك التي تتغير ببطء، هي الأكبر والأكثر سطعاناً. هذا السطعان يمكن تحديده بدقة باعتبار أن كل هذه السيفيدات تتواجد على مسافات أقل من 100 سنة ضوئية، أي بتحديدها بطريقة اختلاف زاوية الموضع، يتغير السطعان مع مقلوب مربع المسافة (انظر شكل 2.2). وهكذا عندما نعرف المسافة ونقيس السطعان فإننا نستطيع الوصول إلى مصدر الضوء.

من الآن فصاعداً يوجد بتصرف الباحثين طريقة قادرة على تحديد السطعان الأصلي لنجم (أي السطعان غير المخفف بفعل المسافة)، ولمسافات أكبر من 100 سنة ضوئية، إذ أنه توجد سيفيدات بعيدة جداً في الكون. بالعودة يمكن تحديد سطعان نجم قريب من سيفيدٍ ما اعتباراً من السطعان المقاس ومعرفة بعد السيفيد القريب منه. عندما نحمل نتائج القياسات المنفذة على آلاف النجوم في منحني السطعان – الضوء (انظر شكل 7، ملون) يتبين لنا أنها لا تتوزع كيفما كان ولكنها تحدد بنيات في المنحني الذي سندعوه المنحني R-H (الحرفان الأولان من هرتزبرنغ وروسل)، حيث الغالبية العظمى من النجوم تتوضع على قطر متموج يصل من النجوم الساطعة والحارة نحو تلك الباهتة والأكثر برودة. نسمي قطر النجوم المألوفة هذه **التتابع الرئيسي**. على هذا التتابع تحت الوسط بقليل تتوضع الشمس، شمسنا. شمسنا هذه هي إذاً نجم شائع. في الأعلى إلى اليمين في النطاق الشديد السطعان ودرجة الحرارة المنخفضة تتوضع نجوم خاصة، كبيرة وهائلة: العمالقة الحمر مثل بيتيلغوز Bételgeuse. في الأسفل إلى اليسار، توجد النجوم الحارة والضعيفة السطعان، إنها صغيرة، ضامرة: النين البيضاء Naines blanches. انطلاقاً من هذا المنحني، وعلى الأخص

من تفسيره، ستتطور وتتقدم كل فيزياء الفلك الحديثة... حول تفسير يستدعي كل الموارد الفيزيائية والنووية.

على أنه، في بداية القرن عندما أمكن فهم نظامية هذه السماء الشاسعة بفضل المنحني R-H، لم تكن لدينا أية فكرة عن الآليات المتعلقة بأصل النجوم وسطعانها الرائع. وعندما ولع الفلكي الكبير، الإنكليزي آرتر إيدينغتون، الفلكي الملكي، الأستاذ في جامعة كامبردج، بكل ما يمس السماء، وإذاً بمصدر طاقة النجوم أيضاً، واكتشف في المخبر التفاعلات النووية التي أثارها زميله روبرت رازيرفورد (انظر الفصل 8)، فإنه أدرك الارتباط الذي يمكن أن يوجد بين طاقة نووية وطاقة نجمية. وعندما باح بفكرته هذه إلى رازيرفورد، قال له هذا الأخير: "غير ممكن، فحرارة الشمس ضعيفة جداً وهذا ما سيرد عليه إيدينغتون بطريقة الكاكير* البسيطة الطيبة. "يصعب علي التفكير بأن ما تفعله في مخبرك يمكن للشمس أن تفعله" ولكن ذلك كله يشكل أساساً لقصة أخرى هي الفيزياء الفلكية.

المجرات

كواكب، نجوم، مجرات هذه هي الهرمية التنظيمية للكون. تقاس المسافات بملايين ثم مليارات السنين الضوئية... هذا فعلاً ضخم وشاسع: لدينا شعور بأننا نمس اللانهاية. عانى مفهوم المجرات كثيراً للبروز في علم الفلك، في بداية القرن الماضي، فما أن صارت استطاعة الأجهزة كافية نوعاً ما، وضُمَّت إليها مرايا لتركيز الضوء وجعلها أكثر فعالية، حتى بدأت أمريكا ترصد مخصصات هامة جداً لعلم الفلك عبر بناء تلسكوبات عملاقة في كاليفورنيا على جبل بالومار Palomar ثم على جبل ولسون Wilson وبدأ الفلكيون يلمحون أجساماً بعيدة مبعثرة ومضيئة. فما هي هذه الأجسام؟

---

* **الكاكير** Quaker عضو في طائفة دينية عرفت بحبها للسلام وبساطتها ووطنيتها. **المترجم**

إنهم يسمونها سديميات Nébuleuses. البعض اعتقد أنها تتشارك مع مجرتنا، طريق الحليب*، آخرون كانوا يرون محيط طريق الحليب. وقد تحقق هيبل في عام 1920 بوضوح وبشكل أكيد من أن السديم أندروميد Andromède هو نظير طريق الحليب ولكنه يتميز عنه. منذ ذلك الحين أمكن تحديد مواقع مليارات المجرات في السماء. عندما تكون هذه المجرات قريبة (نسبياً)، أمكن دراسة بنيتها. بعضها حلزوني مع أذرع، بعضها كتلي، إهليلجي، مقبب في المركز، وبعضها الآخر وسط بين السابقين.

آلة لارتقـــاء الزمن

توجد هذه المجرات على بعد ملايين، بل قُلْ مليارات السنين الضوئية، أيْ أن ضوءها قد أمضى عدة ملايين، بل قُلْ عدة مليارات الســنين للوصول إلينا! وهذا الضوء يخبرنا عما كان يحدث في المجرة في تلك الأزمان الراجعة. عندما ندرس الشمس، فإن الضوء يمضي ثمانية دقائق حتى يصلنا قاطعاً المسافة التي تفصلنا عنها. وعندما ننظر إلى النجم ألفا دو سنتور Alpha de centaure، نراه كما كان عليه منذ مليوني سنة، وعندما نلاحظ مجرات وسطى فيجب الحديث عن مئات الملايين، بل قل المليارات من السنين. وهكذا فإن الشمس التي نراها ما هي إلا لوحة مشوشة، كما في لوحة جدارية تاريخية، حيث لدينا في المستوى الأول الجمهورية الثالثة، في الثاني لويس الرابع عشر، في الثالث فيليب لوبيل يتنازع مع أدوارد إنكلترا. أن تنظر بعيداً يعني أن تنظر باكراً. ضمن هذه الرؤية فإن علم الفلك علم تاريخي وذلك لأن سرعة الضوء ليست لا نهائية.

---

* يعرف بدرب التبان لأنه شبيه بما ينجم عن سقوط بقايا التبن الذي ينقل من البيدر إلى البيوت على الدروب والطرقات. **المترجم**

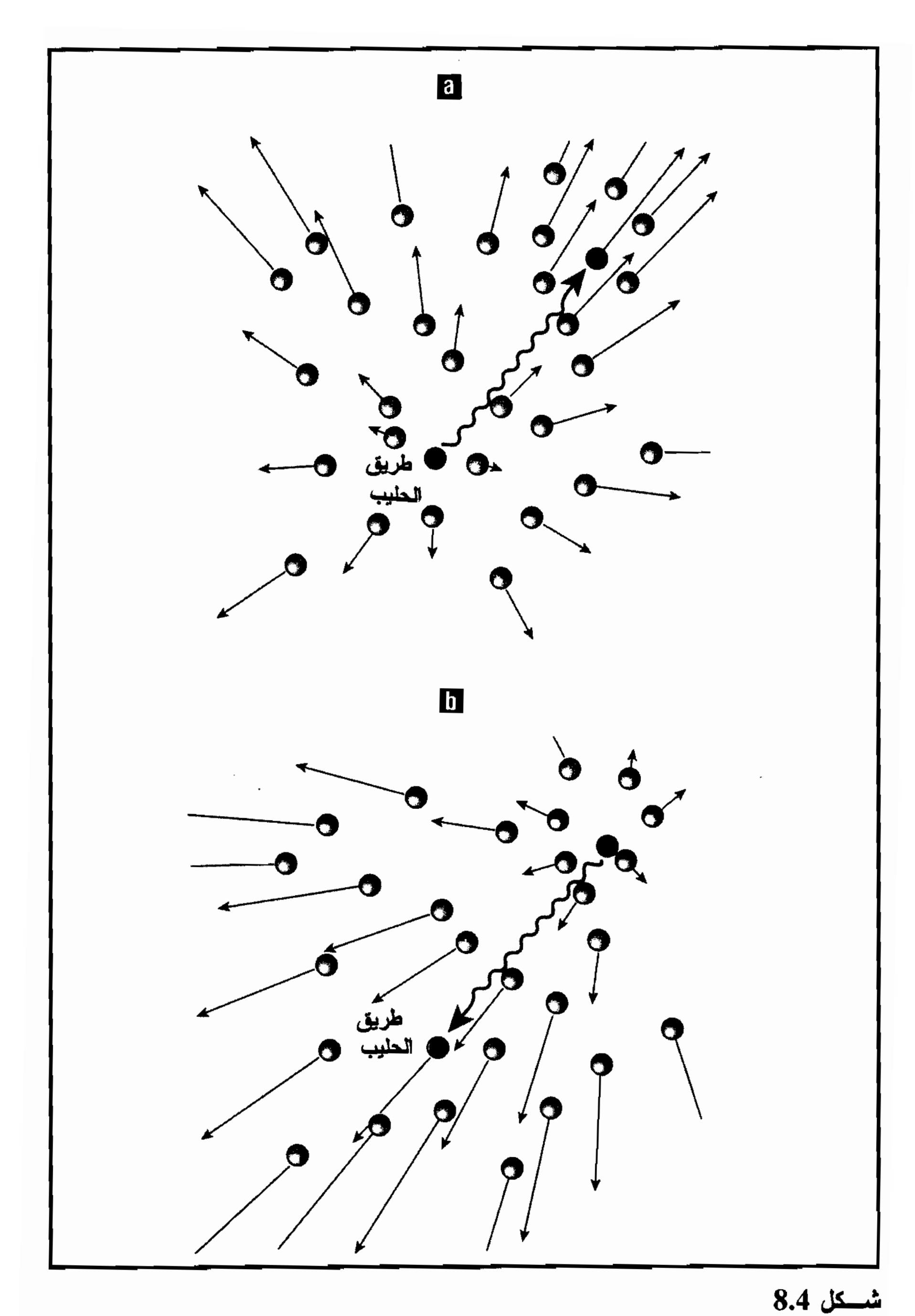
كون في حالة توسع:

عندما تبتعد المجرات تبدو كنقاط وحيدة مضيئة، فهي تقريباً كالمدن المرئية من بعيد لا يُلمَح منها إلا وميضٌ دون أن نستطيع تمييز لا البيوت، ولا إضاءات الشوارع. وهكذا نستطيع من الآن فصاعداً بفضل الطرق المألوفة للفلكيين، دراسة المجرات، لونها، طيفها الضوئي، كما نفعل من أجل النجوم. وعليه ففي الفترة 1929 – 1930، استفاد أدوين هيبل من التلسكوبات الجديدة، وخاصة ذلك الموجود في جبل ولسون، وباشر دراسة أطياف المجرات البعيدة فأوضح أمراً رائعاً: إن أهداب أطياف المجرات تكون، إجمالاً، مماثلة لتلك التي للنجوم مما يعني أن تراكيبها الكيميائية متجاورة وسطياً، مع اختلاف صغير، هو أن معظم الأهداب تكون منـــزاحة باتجاه الأطوال الكبيرة للموجة، أيْ نحو الأحمر. وهذا ما أسميناه سريعاً باللغة الفلكية العامية، الانزياح نحو الأحمر. ولكن كيف يمكن تفسير ذلك؟ الجواب: بالعودة إلى ظاهرة اختبرناها جميعاً والتي نسميها أثر دوبلر Effet Dopler (انظر شكل 8، ملون). كل منا لاحظ أنه في محطة للقطارات، يميز سريعاً ضجيج القطار القادم عن ضجيج ذلك المغادر. في الحالة الأولى يسود الحاد منه Aigu، بينما يسود في الثانيـــة الهادئ Graves. يعود ذلك لواقع أن الأمواج (الصوتية) القادمة باتجاهنا لها ذراً (موجية) أكثر تقارباً. إذاً الحاصل هو "أطوال موجات" أقصر وبالتالي تواتر أعلى وبالمحصلة صوت حاد أكثر. بالعكس، الأمواج التي تبتعد عنا، مثل القطار الذي يغادر، لها أمواج بذراً متباعدة أكثر ولهذا فإن الصوت يكون خافتاً أكثر. إذاً عندما يقترب المرسل للصوت يبدو تواتره حاداً أكثر والعكس عندما يبتعد.

ينطبق ذلك في الضوء أيضاً. فعندما يقترب جسم، فإن الألوان تتـــزاح نحو البنفسجي (طول الموجة أقصر، الضوء حاد أكثر)، وعندما يبتعد فإن الألوان تتـــزاح نحو الأحمر (طول الموجة أكبر، الضوء خافت أكثر). وهكذا توصل هيبل إلى نتيجة لا ريب فيها: المجرات تبتعد عنّا. وهكذا باشر هيبل في تصنيف سرعة ابتعادها لربطها بمعاملات أخرى. تحقق إذاً أنه كلما كانت المجرات بعيدة عنا، كانت سرعة ابتعادها كبيرة. أكثرها سرعة في الهرب هي الأكثر بعداً. بالتأكيد أنه شكا بعضاً من عدم التأكد فيما يخص توضيح هذه العلاقة، لأن قياس بُعد المجرات يتم بافتراض أن لها جميعها سطعاناً أولياً مماثلاً، وبالتالي فإن شحوبها الأكبر (±) يقيس بعدها الأكبر (±). ومع ذلك ما أن أخذ القياس للعديد من الحالات حتى تبين أن العلاقة محققة.

لذلك دعونا نفترض الآن أننا نصعّد (نعود إلى الوراء) الزمن. فالماضي الذي نطارده خطوة خطوة من خلال تفسير الظاهرة يصبح معقولاً ومفهوماً، إذا قبلنا أنه في الماضي، في لحظة قديمة، كل مادة المجرات تجمعت في نقطة واحدة. ثم انطلاقاً من ذلك، أخذت تبتعد الواحدة عن الأخرى، الأسرع هي الأكثر بعداً عنا (وذلك، مهما كان موقعنا بالنسبة للمركز، كما يوضحه الشكل 8.4). أعطت هذه الملاحظات قيمة مادية للتأملات النظرية التي كان أجراها الروسي فريدمان في عام 1920، والقس البلجيكي جورج لوميتر في عام 1927، انطلاقاً من نظرية النسبية العامة لأنشتاين. هذا وذاك كانا قد أطلقا فكرة الكون في توسع، الذي يتحدد بنسب خيالية.

مع ذلك كان لابد من الانتظار عدة سنوات أخرى، لنرى جورج غامو يقترح فكرة أنه في بداية الكون، كانت المادة كلها مركزة في نقطة صغيرة



شــكل 8.4

صورة لاتساع الكون تبين لنا أنه مهما كان موقعنا، المتحرك، المتميز بدوائر بداخلها دوائر سوداء، فإن المجرة تبتعد عنا.

ثم أخذت فجأة تبتعد تحت تأثير ظاهرة عنيفة سميت لاحقاً باسم سيئ (ولكن واسع الانتشار): الانفجار العظيم Big Bang. سيئ لأنه يعطـــي الانطباع بأن المقصود هو انفجار، في حين أنَّ المقصود ليس كذلك البتة. تنبأ غامو بأن هذا الحدث المفاجئ الحار جداً نجـــم عنه ولادة بؤرة تبردت اليوم إلى حرارة 3 غالفن (بالمعنى الذي أعطاه بلانك للجسم العاتم الشهير، والذي سنتحدث عنه لاحقاً). وعندما اكتشف عالما الفلك الإشعاعي بنـــزيا وولسون، بعد الحرب، مصادفةً، الشعاعَ المشهورَ، فإنهما سيؤكدان تنبؤات غامو ويثبتان في الأذهان حقيقة الانفجار العظيم.

وللمضي قدماً، لنتصور الانفجار العظيم، مراحله، الطاقة الداخلة في العملية، فلابد من العودة إلى جميع أدوات الفيـــزياء الحديثـــة وجميـــع النظريات الصعبة التي ندعوها الكهرباء الديناميكية الكوانتية والنسبية. وهذه ليست مادة حديثنا هنا، ولكن ذكرناها لكي نبين الاستطالات المدهشة التي سمحت بها دراسة تحليل الضوء، أي الأطياف الضوئية.

5

سر الطاقـــة، المرحلة الأولى

الطاقة، العمل. لن نفهم شيئاً في العلوم إذا لم نعرف ما تحويه هاتان الكلمتان. في الحياة اليومية، تأخذان معنى أكثر عمومية. ومع ذلك فهو ليس ببعيد عن معناهما العلمي. وهكذا فعندما نتحدث عن أزمة الطاقة أو العمل المنجز، أو أيضاً عن وقت العمل، فلسنا ببعيدين عن عالَم الفيزياء كما سنرى. مع ذلك فإن هذه المفاهيم التي هي أساسية اليوم، وتمثل أساساً لكثير من المحاكمات العلمية مثل مبدأ حفظ الطاقة الشهير، لم تبرز إلا شيئاً فشيئاً.

أول من تحدث عن الطاقة هو غاليلي الذي قدم كلمة "طاقة" دون أن يحددها. ويبدو أن الفرنسي كوريوليس (المعروف بشكل خاص بالقوة، التي تحمل اسمه والتي تخص الأجسام في حالة دوران)، هو الذي أعطاها أول تعريف محدد ودقيق، في بداية القرن التاسع عشر. وهكذا، وعلى مدى وقت طويل، بقي هذا المفهوم، الذي هو أساسي ومركزي في علم الميكانيك، مجهولاً – أو بالأحرى غير محدد. ويستشم منه كل الأهمية، ولكن لم يكن ليستخدم. وحتى يومنا هذا، فالطاقة التي هي إحدى المراجع الأساسية في الفيزياء، لا نعرف تحديدها بشكل جيد، لأن الطاقة ليست كينونة بحد ذاتها، فلا توجد طاقة مركزة أو معزولة. وما نستطيع قياسه تجريبياً هو تغيرات طاقةٍ ما عندما يحصل تغير. يبدو ذلك غير معقول، ومع ذلك فإنه هكذا.

لنصغِ إلى ما يقوله ريتشارد فينمان، الحائز على جائزة نوبل في الفيزياء، وأحد كبار الفيزيائيين في القرن العشرين:"إنه لمن المهم أن ندرك أنه في فيزياء اليوم، ليس لدينا أية معرفة عن ماهية الطاقة".

هذا المفهوم المركزي للفيزياء يتحدد بشكل غير مباشر. كل شيء يحدث كما في الصفوف الابتدائية، حيث يستخدم (في الهندسة) مفهوم الزاوية، كمفهوم أساسي، دون تحديده بشكل دقيق. أما الطاقة، كما يقال، فإنها ما يمكن احتمالاً أن ينتج عن العمل. تعريف غامض جداً كما هو متفق عليه. ومع ذلك، فعملياتياً، الطاقة هي مفهوم ذو فاعلية مدهشة.

العـــمـــل

يحتاج حفر ثقب بذل عمل، ويحتاج رفع ثقل إلى عمل منجز وكذلك الأمر لنقل سيارة. ولكننا نعرف أيضاً أن هذا الانتقال يمكن أن يتم باستخدام محرك يعمل بالوقود أو بالكهرباء. إذاً لدينا جميعاً مفهوم إدراكي عن العمل. يحدد العمل في الفيزياء بدقة كناتج ضرب القوة في انتقال المتحرك الذي تطبق عليه هذه القوة. إذا كان الانتقال يتم بدفع جسم ثقيل لمسافة خمسة أمتار فإن العمل الناتج يكون أكبر منه في حالة دفع هذا الجسم لمسافة متر واحد. إذا رفعنا صندوق كرتون وزنه 20 كيلوغـــراماً مليئـــاً بالكتب لمتر واحد عن سطح الأرض، فإننا نقوم بعمل أقل مما هو لو رفعناه لمترين. في هذه الحالة فإن القوة التي نمارسها هي باتجاه معاكس (وشدة أعلى قليلاً) للقوة الطبيعية للجذب الثقالي الأرضي، الذي تمارسه الأرض على صندوق الكتب، والمعادل لكتلته مضروبة بتسارع الجاذبية (20 كيلوغرام x 10x ثا^2). العمل المنجز لرفع الصندوق نفسه لمترين هو إذاً 20 x 10 x2 = 400 جول. الجول هو وحدة قياس العمل عندما يعبر

عن الكتلة بالكيلوغرام والمسافة بالمتر. ويجب ألا ننسى ضرب الناتج بالتسارع الثقالي الذي يعادل تقريباً 10 أمتار في الثانية المربعة.

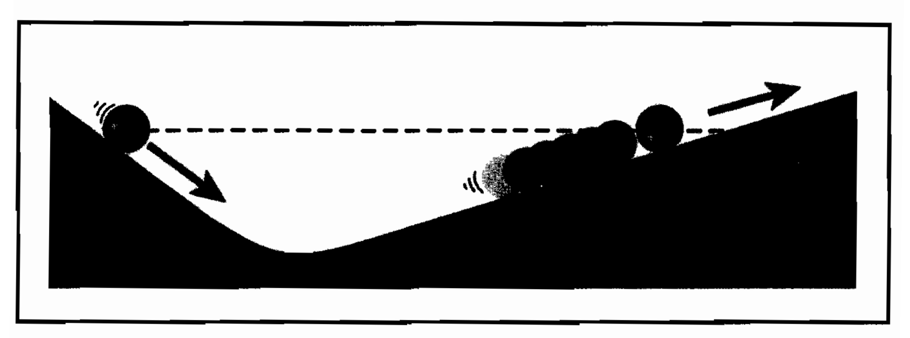
إذا أرخينا الصندوق بعد رفعه لمترين، فإنه يقع على الأرض. هذا السقوط يتوافق مع خسارة لطاقة (كامنة) يمكن أن تستخدم للقيام بعمل. الجذب الأرضي سمح إذاً بتقديم عمل معادل لأربعمائة جول. البرهان الأمثل على ذلك هو لو أننا ربطنا الصندوق بحبل يمر من بكرة ومربوط بصندوق آخر فإن سقوط الصندوق الأول سيسمح للثاني بالصعود لارتفاع ما. كيف يترجم ذلك بلغة الفيزياء؟ عندما رفعنا الصندوق الأول لمستوٍ على ارتفاع مترين، فإننا حوّلنا العمل المنجز لمقدار مخزن في هذا المستوى، قادر بحد ذاته على إعادة إنزال الصندوق إلى الأرض. يقال هنا أن الصندوق الساكن في المستوى الذي وصله يملك **طاقة كامنة**. نقول كامنة لأنها تحتاج إلى فعل خارجي كي تعبّر عن حالها. وعليه فكل جسم ثقلي يتضمن طاقة كامنة، وهذه الأخيرة تتوقف على موضعهـا في الفضـاء (بالنسبة لنا، بعـدها عن مركـز الأرض).

ضمن هذه المقاربة، فإن الطاقة هي القدرة على إنتاج العمل. فخلال سقوط الصندوق إلى الأرض، فإن هذه الطاقة الكمونية تتحول إلى **طاقة فعلية** énergie effective، ثم طاقة حركية، ونقول عنها **طاقة حركية** énergie cinétique (حركية تعني الحركة). كمية غريبة ومثيرة مايخزن أو يعبر عنه تبعاً للحالة! السر يتضاعف.

العودة إلى غاليلي

عندما أجرى غاليلي تجاربه بمساعدة الكريات المتدحرجة على مستويات مائلة، فقد كان على وشك الوصول إلى إيضاح مفهوم الطاقة

ومبدأ حفظ هذه الطاقة. فقد لاحظ، بالواقع، أنه عندما يمدد أحد مستوياته المائلة الشهيرة بمستوٍ آخر مائل مماثل ويرخي الكرية من الأعلى، فإن هذه الأخيرة تتدحرج على المستوى الأول، ثم تتابع طريقها على الثاني صاعدة تقريباً إلى ارتفاع يعادل ارتفاع نقطة الانطلاق، وذلك مهما كان ميل المستويين المائلين (انظر شكل 1.5).



شـــكل 1.5

تجربة المستويين المائلين لغاليلي. الكرة المتروكة في اليسار تصعد في اليمين إلى الارتفاع نفسه (أو تقريباً).

يقال، بلغة فيزيائية عصرية، أن الطاقة الكامنة تتحول في اتجاه إلى طاقة حركية، ثم بالعكس، تتحول الطاقة الحركية إلى طاقة كامنة*. الطاقة الكامنة هي الطاقة التي يمكن أن تتحول إلى عمل، والطاقة الحركية هي التي تتظاهر من خلال سرعة الجسم عندما ينتج العمل. ما هو رائع، هو أن هذين الشكلين للطاقة يستطيعان أن يتحول أحدهما إلى الآخر.

الكمونية، خفية، مخبأة والحركية مرئية، ملموسة وقابلة للقياس. ميكانيكيوّ القرن التاسع عشر افترضوا مبدءاً أساسياً في الفيزياء ربما يكون هو الأهم منها كلها. **الطاقة تحفظ**، إنها تأخذ أشكالاً مختلفة وتتحول من أحدها إلى الآخر، ولكن بالمحصلة فهي تحفظ. لا تولد من العدم ولا تختفي،

* إذا لم ترتفع الكرة تماماً إلى المستوى نفسه فذلك لوجود احتكاكات.

إنها موجودة بيننا، جاهزة، خفية، وموجودة في كل مكان. في تجربة المستويين المائلين لغاليلي، والموضوعين وجهاً لوجه، حفظت الطاقة. يمكن إذاً أن نكتب: طاقة حركية + طاقة كامنة = ثابت. وباستخدام تعريف العمل، بكل بساطة، وكذلك قانون نيوتن عن التسارع، تبين أن **الطاقة الحركية تعادل الكتلة مضروبة بمربع السرعة مقسومة على اثنين**، في حين أن **الطاقة الكامنة تساوي الكتلة مضروبة بالارتفاع والتسارع الجاذبي**. يبدو ذلك معقداً ومدهشاً، ولكن في الواقع لا شيء أبسط من ذلك. مهما يكن من أمر فإن هذه الاعتبارات ليست أساسية هنا.

بالمقابل ما هو مهم تذكره، هو أن الطاقة ليست مفهوماً متبدلاً بقدر ما يمكن أن يتبادر للذهن (وهذا ما أردت التعبير عنه بوصفي إياه أنه "سر") وأنها تحفظ. غير أن إثباتاً ثانياً يفرض نفسه سريعاً. بالحقيقة في تجربة غاليلي، كانت الكرة تتباطأ في كل مرور، ففي كل صعود كانت تصعد أقل ارتفاعاً، وفي النهاية كانت تسكن في التجويف، بين المستويين المائلين. فكيف تُفَسَّر هذه الظاهرة؟ بادئ الأمر، لابد من الأخذ بالاعتبار واقع أن جزءاً من الطاقة يتبدد، بفعل الاحتكاكات. فإذا ما أردنا تطبيق مبدأ حفظ الطاقة، فلابد من استخلاص أن الاحتكاك يستهلك من الطاقة. بعد ذلك يجب أن نلاحظ أن الكرة تتوقف حيث تكون طاقتها الكامنة أقل ما يمكن، باعتبار أن كرة متوضعة في التجويف تسكن، أي لا تتدحرج. يقال بلغة الفيزيائي أن الوضع المستقر هو الوضع الذي تكون فيه الطاقة الكامنة في القيمة الدنيا لها. هذا مبدأ عام، فجملةُ تأخذ دوماً الوضع الذي تكون فيه طاقتها الكامنة دنيا، حيث تنتج أقل ما يمكن من العمل. هذا هو مبدأ التخامد الأقصى المطبق في الفيزياء.

الآلة البخارية

بدون أدنى شك أن العلميون، من خلال التفتيش عن استبدال العمل المنجز بواسطة الحيوانات والإنسان، بعمل الآلة، أقاموا علاقة بين العمل والطاقة من جهة، ودرجة الحرارة والحرارة من جهة أخرى. ومن أجل إفهام هذه العلاقة، لنبدأ بملاحظة بسيطة وتقريباً عادية. يوضع قليل من الماء في قدر، يغطى القدر بغطاء ويسخن. بعد بعض الوقت، يرتفع الغطاء (عموماً حسب حركة جيئة وذهاباً). هذا يعني أن حفظ البخار قد مارس فعلاً على الغطاء فرفعه، مارس قوة مع انتقال. بخار الماء الساخن ولَّد إذاً عملاً. إذاً تجسدت طاقة معينة لبخار الماء. الطاقة الحرورية للماء تحولت إلى طاقة ميكانيكية، متمثلة بتقبب الغطاء.

تلا ذلك التفسير النظري. فلنعد إلى القرن الثامن عشر، حيث وضع كل من الفرنسي ماريوط والإنكليزي بويل، في هذه الفترة، قانوناً يقول: ضغط الغاز يتوقف على درجة الحرارة ومقلوب الحجم الذي يحيط به. هذه هي الصيغة الشهيرة التي بحسبها فإن حاصل ضرب الضغط بالحجم لغاز لا يتوقف إلا على درجة الحرارة. $PV= NRT$* . كلما كان الحجم صغيراً، كان الضغط كبيراً، وكلما ضُغِط الغاز، قاوم دافعاً الجدران.

سبب حركات الغطاء إذاً هو ارتفاع درجة حرارة الغاز. ولكن لرفع درجة حرارة غاز وجب تسخينه، أي إعطاؤه حرارة. بالمحصلة إذاً **الحرارة هي التي ولدت عملاً** بواسطة بخار الماء. يقول لنا مبدأ حفظ الطاقة بالفعل أن الحرارة والعمل يمكن أن يتحول أحدهما إلى الآخر وأنهما مظهران للطاقة، (حاصل "الحرارة المصروفة والعمل المنجز يبقى ثابتاً). الوضع المقلوب معروف لدينا، عندما يفرك أحدنا يديه إحداهما ضد الأخرى فإنه يسخنهما.

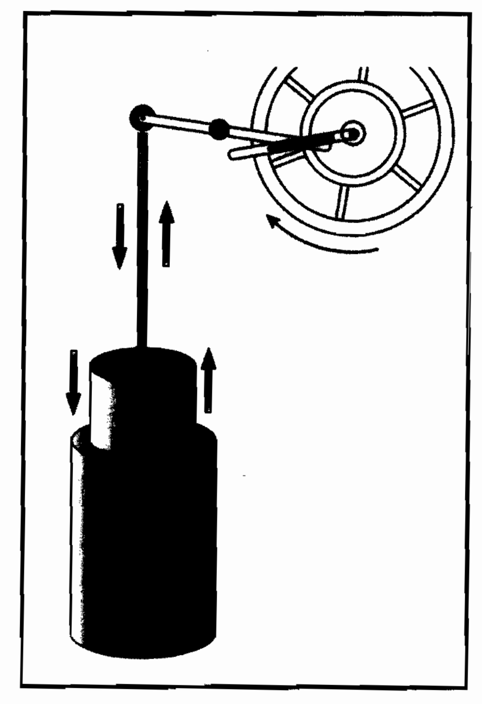
---

* حيث R هو ثابت، و N عدد الجزيئات.

تحدثنا عن حفظ الطاقة عند مناقشة التحول بين طاقة حركية وطاقة كامنة، ونكتشف هنا التحول بين طاقة ميكانيكية وطاقة حرارية، بين عمل وحرارة. ولكن كما في الحالة الأولى، هناك خسارات. جزء من الحرارة يستخدم لتسخين معدن القدر ثم الهواء الذي يحويه. ولكن هذه الخسارات تتطلب الطاقة أيضاً، وبالتالي فما هو صحيح، هو أن حاصل "حرارة + عمل + خسارات" هو محفوظ.

الضاغط:

الآلة الرمزية لهذه العلاقات بين الحرارة والعمل هو الضاغط، أي أسطوانة مغلقة تنزلق في أسطوانة مفتوحة (انظر شكل 2.5). الداخل يمكن أن يكون مملوءاً بالغاز، الخارج متصل بساق تدير دولاباً. تمدد الغاز يحرك الضاغط. الطاقة الحرارية تتحول إلى حرارة ميكانيكية. الدولاب يدور ساحباً الضاغط الذي سيعود إلى موضعه الأول. بالطبع كي تستطيع الجملة أن تعمل لابد من إمكانية إدخال الغاز الساخن في الضاغط، ثم تفريغه منه عندما ينجز عملاً بتحريك الضاغط - فيتبرد إذاً. هذا ما تفعله الصبابات.



شكل 2.5

مبدأ الضاغط الذي يدير دولاباً بحركته جيئة وذهاباً.

هذا هو مبدأ القاطرة البخارية. في السيارة، نزيد قوة

الغاز بإحداث الانفجار. يدفع الضاغط بعنف، يفرغ الغاز ثم تعـــاد الكـــرَّة. يمثل الضاغط تماماً المثال الرمز لهذا التحول: الحرارة – العمل لأول ثورة صناعية بحيث أن المدرسة المركزية للفنون والصناعات، إحدى أهم مدارس الهندسة الكبرى القديمة، اعتمدت الضـــاغط كرمـــز، وأن طلابهـــا القدامى يسمون الضواغط، مثلما يسمى طلاب المدرسة المتعددة التقنيات X (رمز المجهول في المعادلات!).

ترموديناميـــك

جوهرياً وعلى هامش هذا التحول حرارة – عمل، وتحولات الطاقة عموماً، تم تطوير علم سندعوه الترموديناميك. يعتبر هذا العلم، بصورته العادية خاصة، ودون شك، واحداً من العلوم الأكثر إغراء: إنه يقوم على بعض المبادئ البسيطة العامة جداً، فهو يسمح باستنتاج أمور واقعية وملموسة وتنفيذ حسابات دقيقة جداً. ماهي مبادئه؟ إنها بسيطة، واضحة. الطاقة تحفظ، الحرارة تنتقل من الساخن نحو البارد وليس أبداً العكس، وكل تحول يترافق بخسارات – والحركة الأبدية إذاً غير ممكنة.

ومع ذلك فاعتباراً من ذلك، باستخدام الرياضيات وبعض من الدهاء، أمكن إنجاز علم فعال عن الطاقة. وعندما أراد بعض الاقتصاديين تحويل فرعهم إلى علم، كما كان طموح المهندس ولراس في بداية القرن، راحوا يقلدون الترموديناميك انطلاقاً من بعض المبادئ البسيطة (مثلاً: كل فاعل اقتصادي فتش عن تعظيم رضاه (ربحه) وتقليل إنفاقه... إلخ)*.

* حصلوا على نتائج مهمة، ولكن، كما هو معروف، اصطدموا بصعوبات تطبيقها بشكل فعال على العالم الواقعي، لأن كثيراً من المبادئ الاقتصادية تطبق بشكل سيئ في الحقيقة، ومفهوم التوازن، المفيد جداً في الترموديناميك، مثير للإشكالية بشكل أكبر في الاقتصاد.

لنتابع استقصاءنا عن أصول الطاقة. هذه الطاقة الحرورية التي سمحت بتوليد العمل، من أين جاءت؟ أمن احتراق الكربون؟ التفاعلات الكيميائية من نوع التفاعل $C + O_2 \longrightarrow CO_2$، تولد طاقة، في سخان مثل جسمنا*. تفاعلات أخرى تستهلك منها، وهذا ما اكتشف في منتصف القرن التاسع عشر. على أنه، بالواقع، لدى قياس الحرارة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية، بمساعدة أجهزة تسمى مقاييس حرورية** Calorimètres، تم إدراك أنه إذا كانت بعض التفاعلات تولد الطاقة (حرارة)، فإن بعضها يمتصها. بلغة العارف، الأولى يقال عنها ناشرة للحرارة exothermiques (نستخدمها للتسخين)، كما هي حالة احتراق الكربون، الثانية يقال عنها ماصة للحرارة – endothermiques (ونستخدمها إذاً للتبريد).

مارسلين برتيلو، الإنسان الذي لم يكن يؤمن بالذرات، سيصبح في حوالي نهاية القرن التاسع عشر، بابا الترموديناميك الكيميائي. إنه بابا لامع، نشيط وفعال ككثير من الأمور التي ليست دوماً بهذه البساطة. بعد بعض التجارب الدقيقة والمتنوعة، مارسلين برتيلو صاغ المبدأ التالي: **تحتوي المواد الكيميائية في ذاتها الطاقة التي يمكن أن تتبادلها أثناء تفاعل كيميائي.** ثم صاغ واحداً ثانياً: **يحدث تفاعل كيميائي إذا قادت النتيجة إلى طاقة إجمالية أدنى من حاصل طاقات المواد عند البدء.** أي إذا حرر

---

* الحوادث هي نفسها. نحن نحرق مواد كربونية كي نولد طاقتنا، كما هو الحال بالنسبة للآلة البخارية التي تحرق الكربون لتولد طاقتها. لكن الاحتراق البيولوجي يتم في درجة حرارة منخفضة (لحسن الحظ)، بفضل الأنزيمات التي سوف نتفحصها لاحقاً.

** تسمح بقياس زيادة درجة حرارة المواد التي خصائصها دوماً هي نفسها.

التفاعل طاقة، أي حرارة. وهكذا طبق في الكيمياء مبدأ الميكانيك الذي بحسبه كل جملة تكون في توازن مستقر عندما تكون طاقتها دنيا*.

أليست الطاقة الداخلية التي تحتويها المواد الكيميائية هي طاقة كامنة يمكن أن تتظاهر أثناء التفاعلات الكيميائية؟ عندما نخسر من هذه الطاقة الكيميائيـــة التي تتحول إلى بخار، نخسر من الكمون، ونكون في وضع مماثل لوضع الكرة التي تهبط على المستوى المائل. أولئك الذين (على العكس من برتيلو)، اعتمدوا نظرية الذرة والجزيئات، وأعطوا هذه التظاهرات الطاقوية للمادة تفسيراً مجهرياً، ميكانيكياً. فالذرات ترتبط بعضها ببعض لتشكل جزيئات. هذه الروابط الكيميائية، هذه الصلات إذا أردنا، تعكس طاقة. ولتحرير الذرات، يجب تقطيع هذه الروابط وبالتالي توليد طاقة. ولذلك فمن أجل تفكيك جسم وتحرير الذرات التي تكونه، يجب، مثلاً، تسخينه بشدة. الطاقة المتولدة من الخارج تؤدي إلى اهتزازات الذرات، وإذا كانت هذه الطاقة كبيرة بشكل كافٍ فإن الاهتزازات تكون بحيث أنها تقطع الروابط الكيميائية وتحرر الذرات.

ضمن هذه الرؤية، فإن التحولات الكيميائية تبدو كحوادث تحول للطاقة، تقطيع الروابط يحرر الطاقة، وإنشاء روابط يمتص الطاقة. في كل مرة يعبر عن المحصلة بإشارات (±). هناك التفاعلات التي تسخن والتفاعلات التي يجب تسخينها. نحن نحس بالمادة، نضغطها فهي احتياط ضخم للطاقة.

الإنسان سوف يستخدم طاقة المادة هذه في مرحلتين: الطاقة الكيميائية، هذه التي تصل بين الذرات والتي سنستخدمها في الاحتراق، ثم تلك الأخصب، في قلب الذرات، الطاقة النووية التي سنعود إليها باختصار.

---

* سنرى لاحقاً أن هذا المبدأ ليس كافياً لتوقع حدوث تفاعل كيميائي.

سمح لنا مفهوم الطاقة حتى الآن بالتقريب بين مجالات تبدو ظاهرياً متباعدة جداً: الميكانيك، الترموديناميك والكيمياء، إن ذلك ليبدو من الآن رائعاً مع أننا لازلنا بعيدين عن نهاية الأمر، لأننا لا نعرف حتى الآن: ما هي الطاقة؟ يمكننا حساب تحولاتها، حساب احتياطيها، إقامة محاكمات بدءاً منها، ولكننا لازلنا منها في النقطة نفسها. إننا خبرنا منها ما يسمح **بإنجاز العمل** من خلال سلسلة من التحولات المعقدة.

ما هو مقياس الطاقة؟

قلنا ونكرر أننا نستطيع قياس الطاقة وتحولاتها. فما هـــي وحـــدة الطاقة؟ إن موضوع الوحدات هو واحد من جروح الفيزياء، ويلعب دوراً غير قليل، كما أرى، في رفض الطلاب لهذا العلم. بالطبع، في العمق، كل شيء بسيط إذ يكفي الاهتمام بالتعاريف. نعم، ولكن كما تلاحظون، على مدى الزمن فإن وحدات القياس قد تغيرت. وهكذا فمن أجل الطاقة نستخدم في وقت أو آخر **الآرغ** erg، **الحريرة**، **النيوتن** X **المتر**، **الكيلواط – ساعة**، واليوم فإن الوحدة الرسمية هي **الجول**، كما تلاحظون إننا نضيع. الجملة الحالية تقوم على أساس أن قياس الأطوال بالمتر، الكتلة بالكيلوغرام، الوقت بالثواني (MKS)، أما الجملة القديمة فكانت CGS (سنتيمتر، غرام، ثانية). هذا مصدر للخلط والتشويش يدوم، لأن العادات لها حياة دائمة وصعبة: مثلاً يستمر الكيميائيون في حساب طاقاتهم بالحريرة، بينما الكتب القديمة تستعمل الجملة التالية: CGS. كل ذلك دون أن نتكلم عن الجملة الأنكلو – ساكسونية (البوصة، الليبرة...إلخ).

الجول هو العمل (الطاقة المعبرة) المنجز من انتقال شاقولي لكتلة كيلوغرام واحد لمسافة متر واحد. وهو تعبير مستقل عن السرعة – في حين أن الاستطاعة هي التي تدخل عامل الزمن. هكذا إذاً طورت واحدة

مشتقة لتمييز هذه **الاستطاعة**، التي هي **العمل المنفذ في واحدة الزمن**. الإنسان القوي هو الذي ينتج كثيراً من العمل في قليل من الوقت. هذه الاستطاعة تقاس بالواط. إذاً الطاقة التي هي الاستطاعة في واحدة الزمن يمكن التعبير عنها أيضاً بالواط X الثانية أو بالكيلواط X الساعة، وهي وحدة أكثر شيوعاً للطاقة (كما تلاحظون عند دفع فواتير الكهرباء).

من خلال هذا الاحتكاك الأول مع هذا المقدار الخفي، يمكن تذكر نقطتين أساسيتين هما: **الطاقة (القدرة على إنتاج العمل) بمختلف أشكالها تتحول إحداها إلى الأخرى. الطاقة تتقلص دون توقف**. ويتبدد منها الكثير بمناسبة كل تحول ولهذا فإن كل الجهود التكنولوجية منصبَّة على هدف تقليل الإسراف من الطاقة واقتصاد الطاقة وتحسين مردودها. اقتصاد الطاقة يجب أن يذكركم بشيء ما.

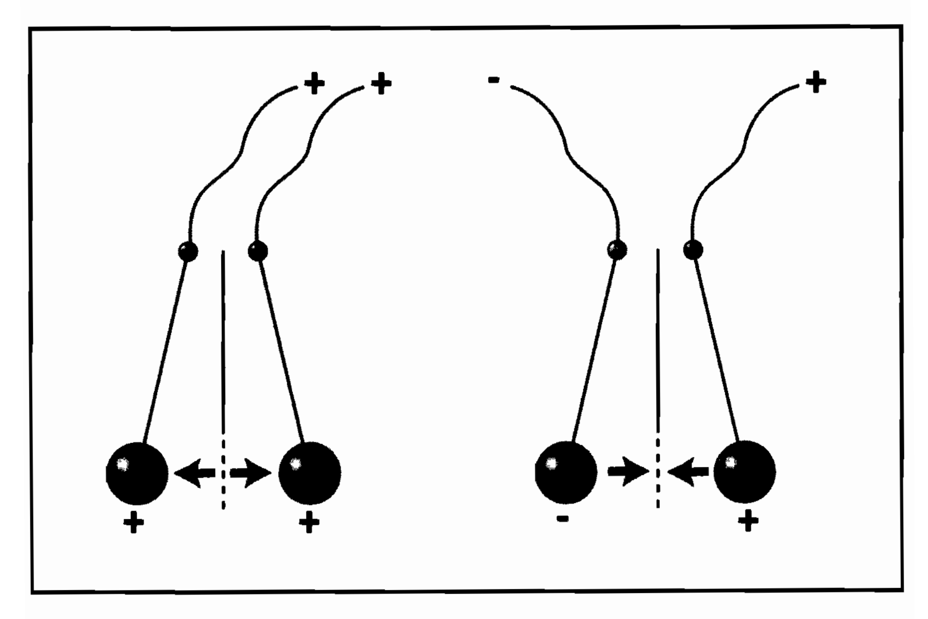
6

هـــذه الجنِّـــيَّـــة الكهرباء

تعتبر الكهرباء بدون شك الاكتشاف الأكثر روعة، الأكثر وقعاً، والأكثر أهمية أيضاً في القرن التاسع عشر. وكما قال إدوارد بريزن، الرئيس القديم لمركز البحوث الفرنسي الوطني CNRS، ليس بالتفتيش عن تحسين الإضاءة بالشمعة أننا اكتشفنا الكهرباء. ومع ذلك فالكهرباء ليست اكتشافاً حديثاً مثل الإشعاعية أو اللايزر. إنها معروفة منذ اليونان.

كان معروفاً أنه بفرك قضيب العنبر Ambre، بجلد القطة يمكن مباشرة جذب غبار أو نتف صغيرة من البيلسان. التجربة نفسها جربت مع قضيب زجاجي فلوحظ جذب ذرات غبار أيضاً، حتى أنه في وقت ما جرى حديث عن الكهربائية الزجاجية، أو الكهربائية الراتنجية. لاحظ بنجامين فرانكلين، الذي تحدثنا عنه سابقاً، أن الأجسام المشحونة بالكهرباء الراتنجية، تجذب الأشياء المشحونة بالكهربائية الزجاجية، وبفضل حقيقة أن المتعاكسات تتجاذب، فقد أورد مفهوم الكهربائية الموجبة والسالبة، وأوجد فكرة أن الكهرباء هي نوع من السائل المزود بخاصية تكون إما فائضة (موجبة) أو تعاني من عجز (سالبة) (والذي لم يكن بالمحصلة خطأ).

ضوعفت التجارب في القرن الثامن عشر لفهم طبيعة هذا السائل الكهربائي. تحقق التسارع الأساسي في اكتشاف الظاهرة بفضل اكتشاف الإيطالي ساندرو فولتا البطارية الكهربائية. فقد برهن هذا أن لوحين من الزنك والفضة بينهما فاصل مشرب بمحلول ضعيف الحمضية، ومتصلين بسلكين يولدان كهرباء. يمكن تبيان هذه الكهرباء بسهولة، إذ يكفي لذلك فصل السلكين بكرتين معلقتين بخيط. يلاحظ أن الكرتين تتجاذبان بالواقع، مباشرة. بالمقابل إذا وصلنا الكرتين بمخرج البطارية نفسه فإن الكرتين تتدافعان. كان لدينا البرهان على وجود كل من هاتين الكهرباء الموجبة والسالبة من بنجامين فرانكلين. وفي هذه التجربة أيضاً يكمن مبدأ مقياس الكهرباء éléctromètre، أي الأداة التي تسمح بتقدير القوة بفعل الكهرباء. للوصول إلى ذلك نأخذ قياس زوايا انحراف الخيطين (انظر شكل 1.6).



شكل 1.6

مبدأ مقياس الكهربائية، حيث توصل كرتان معدنيتان متماثلتان بخيطين، وتبعاً لوصل الكرتين بقطبين موجبين أو سالبين لبطارية، فإنهما تتدافعان أو تتجاذبان.

أهم خاصة لبطارية فولتا، أنه يمكن صنع سلسلة منها، وإضافة كل منها إلى الأخرى (يقال أننا نضعها في سلسلة)، لإنتاج كهرباء ذات شدة أكبر. اعتباراً من ذلك فإن الدراسات عن الكهرباء أدت إلى إحداث قفزة هامة جداً إلى الأمام. بفضل أعمال أندريه ماري أمبير وربما أكثر بفضل ميكائيل فاراداي.

ميكائيل فاراداي

في منتصف القرن التاسع عشر، كان ميكائيل فاراداي، بدون أي تكوين علمي؟، كان يعمل مجلداً مبتدئاً لدى دافي، وبصفة فني في المعهد الملكي، غير قادر على استخدام الرياضيات، ومع ذلك استطاع أن يكون فيزيائياً جيداً، حيث أنجز أحد الأعمال العلمية التطبيقية والنظرية بآن واحد، والأكثر روعة في تاريخ العلوم. إنه هو الذي فتح الباب للدخول إلى الفيزياء الحديثة وإلى فهمنا للكهرباء وكذلك إلى الثورة التكنولوجية.

بادئ الأمر كان مفهوم الكهرباء خفياً. عنصران من مادة يملكان شحنات كهربائية إما أن يتدافعا أو يتجاذبا، حسبما تكون هذه الشحنات متماثلة أو متعاكسة. هذا المعيار يترجم فقط أنهما يتجاذبان أو يتدافعان! جوهر هذه الخاصية هو حقيقة من مرتبة السر الخفي. ما معنى شحنة كهربائية؟ ومن أين تأتي؟ انطلاقاً من هذه الخاصية الأولية التي تربط بين الفعل المتبادل للشحنات الكهربائية تبعاً لإشارتها، استطاع فاراداي أن يثبت أن الأجسام الصلبة يمكن أن تصنف في نوعين: أجسام تنقل الكهرباء، أي تنقل الشحنات الكهربائية (إذا شحن طرف سلك سلبياً – أو إيجابياً– فإن الطرف الآخر يشحن بشكل مماثل)، والتي نسميها ناقلة، أو أجسام لا تنقل الكهرباء ونسميها عازلة. هذا التمييز هو تمييز أساسي. عادة ما يستخدم في شبكة المنازل الكهربائية أسلاك نحاسية ولكن يمكن استخدام أسلاك ذهبية

(ولكنها غالية)، غير أنه بالتأكيد لا يمكن استخدام النايلون! لأن النايلون غير ناقل للكهرباء. اعتباراً من ذلك برز سؤال لمعرفة ما إذا كان بإمكان الكهرباء أن تقوم بعمل.

إذا وضعنا جزيئة صغيرة مشحونة بكهربائية موجبة بين صفيحتين إحداهما مشحونة بشكل موجب والأخرى بشكل سالب، فإن الجزيئة سوف تجذبها الصفيحة السالبة، يكون هذا الجذب بحيث أن الجزيئة سوف تقطع الفضاء متسارعة إلى أن تلتصق بالصفيحة السالبة، قلنا إذاً أنها تتسارع... إذاً الكهرباء التي تجذب الجزيئة قادرة على ممارسة قوة. هذه القوة بين شحنتين كهربائيتين هي رياضياً، مماثلة لقوة الثقالة: فهي تابعة لحاصل ضرب الشحنتين الكهربائيتين، ومتناسبة عكساً مع المسافة المرفوعة للتربيع*. وهو القانون الذي اكتشفه كولومب.

إذا كانت الكهرباء تولد قوة وتثير انتقالاً، فهذا يعني أنها قادرة على أن تولد عملاً، مما يوجب إذاً وجود **طاقة كهربائية**، كما توجد **طاقة كيميائية** أو **طاقة ميكانيكية**. بالفعل كل المقادير التي صادفناها في الطاقة تطبق في الكهرباء. العمل الكهربائي يقاس بحاصل ضرب الشحنة الكهربائية بمقدار نعرفه جميعاً إدراكاً هو **فرق الكمون الكهربائي** (نمر من 110 إلى 220 فولت). وحدة قياس فرق الكمون الكهربائي هي الفولت والتي انطلاقاً منها أعطي الاسم الشائع "الفولت**". **العمل في واحدة** الوقت، هو ما ندعوه **الاستطاعة**، وقد عرفناها من قبل، أما كمية الشحنة المنتقلة في واحدة الزمن، فهي ما ندعوه **شدة التيار الكهربائي**. حسب ما رأيناه للتو فإن

---

* هذا القانون متناسب دوماً مع مقلوب مربع المسافة التي هي مسافة كرة التأثير.

** يمكن التعبير عن هذا الفرق أيضاً بتحريك الشحنات. فالفولتاج هو إذاً العمل المنجز من واحدة الشحنة.

الاستطاعة الكهربائية هي بكل بساطة الفولتاج مضروب بالشدة ($P = VI$). تقاس الاستطاعة بالواط أو بالكيلواط (1000 واط)، أو بالميغاواط (مليون واط)، وتقاس الشدة بالأمبير، إذاً 1واط =1 فولت مضروباً بأمبير واحد.

في المادة، وحتى فيما ندعوه النواقل، لا تنتقل الكهرباء بسهولة كما في الفراغ بين صفيحتين كهربائيتين مشحونتين. كل منـــا تعلـــم في درس الفيزياء قانون أوم. شدة التيار الكهربائي التي تمر في ناقل تساوي الفولتاج مقسوماً على المقاومة وهو القانون الشهير $V=RI$. يمكن لنا أن نجري بالقياس المحاكمة نفسها بين التيار الكهربائي وسائل يتحرك. فالسائل يتحرك بسرعة أكبر في أنبوب يصل بين خزانين كلما كان فرق المنسوب بين الخزانين كبيراً وكلما كانت مقاومة الأنبوب قليلة، أيْ الاحتكاك مع جوانب الأنبوب قليل... إلخ. وعندما تكون هناك مقاومة كبيرة، فإن السائل يمر بصعوبة إذ أنه سوف يحتك بجدران الأنبوب ويفقد شيئاً من طاقته. والشيء نفسه يحدث في الكهرباء. ففرق المستوى هنا يقابله الفولتاج (الكمون)، وسرعة سيلان السائل يقابلها شدة التيار. الاستطاعة التي يبددها تيار كهربائي تتوقف على شدة التيار مرفوعة للتربيع وعلى مقاومة الناقل*. إذا كانت هذه الاستطاعة المبددة كبيرة فإنها سوف تسخن السلك الكهربائي. يمكن أن يصبح السلك متوهجاً ثم يتحول أحمرَ فأبيضَ. هذا هو مبدأ الحبابة الزجاجية (اللمبة) الكهربائية. بطريقة فيزيائية أوضح، فإن التيار الكهربائي هو حركة الشحنات الكهربائية المثارة لتعويض **عدم تجانس توزيع** هذه الشحنات الممثل **بالكمون**.

---

* يمكن صياغة ذلك بسهولة: إذا كانت $V=RI$ و $P=VI$ وبالتعويض عن V بقيمتها يكون $P=VI^2$.

لن نتقيد هنا، بالتسلسل الزمني للاكتشافات، لأن ذلك سوف يفرض علينا إطالات لا طائل منها. لنستبق إذاً قليلاً ونقول أن الذرة مكونة من نواة تحمل شحنة كهربائية موجبة، وحولها تدور إلكترونات، جزيئات صغيرة تحمل شحنات كهربائية سالبة. الإلكترونات هي إذاً حوامل التيار الكهربائي. في جسم صلب، تتوضع النوى الذرية في مواقع ثابتة، تخضع لقواعد تناظر ثلاثية الأبعاد ("ورق الجدران" ثلاثي الأبعاد الذي تحدثنا عنه بمناسبة البلورات). الإلكترونات، نفسها، تدور حول النوى، في بعض المواد، تكون الصلات بين الإلكترونات والنوى قوية، ولذلك فالإلكترونات لا تستطيع الابتعاد كثيراً عن مركز ارتباطها. هذه المواد لا تستطيع أن تنشر الشحنات الكهربائية، فهي أجسام عازلة. في أجسام صلبة أخرى، بالعكس، فإن بعض الإلكترونات (خارجية جداً بالنسبة للنوى)، تكون ضعيفة الارتباط بهذه النوى، إذاً تستطيع الانتقال قليلاً... مع شحناتها. هذه الأجسام التي تسمح بانتقال الشحنات الكهربائية هي ناقلة للكهرباء (يقال عنها ناقلة عن قرب).

كل المواد تكون في توازن كهربائي. أيْ الشحنات الموجبة والسالبة تكون بشكل عام متقاربة، بكميات متساوية ويلغي بعضها البعض الآخر. إذا ابتعدت شحنة سالبة (إلكترون) في اتجاه ما، فإنها تخرب هذا التوازن المحلي وتظهر فجأة شحنة موجبة بفعل هذا الخلل. يمكن تصور ذلك كما لو أن شحنة موجبة هاجرت في الاتجاه المعاكس للإلكترون. هذا هو التيار الكهربائي. في الناقل تقطع الإلكترونات، كل منها، مساراً قصيراً (ومن الغريب أن ذلك يتم ببطء كبير، لِنَقُلْ بسرعة 1 ميليمتر في الثانية)، ولكن بالتدريج، يدفعون الإلكترونات الأخرى – كما في حالة سلسلة الكرات المصطفة بجانب بعضها، إذ بالضرب على الكرة الموجودة في النهاية –

ينتقل الارتجاج إلى كل الكرات (وكأننا نصادف أمواجاً...). غير أن الأمواج أسرع من الشحنات! تنتقل الشحنة الموجبة في الاتجاه المعاكس. التيار الكهربائي، هو حركة هذا الارتجاج لموجة الشحنات، وهو سريع جداً. كلما كان هناك إلكترونات تنتقل، كانت شدة التيار قوية. المقاومة الكهربائية، المعبر عنها بقانون أوم، هي عوائق هذه الحركة، هي الجذب الذي تمارسه النوى الذرية على الإلكترونات والذي يعيق حركتها. هذا الجذب، هذه الإعاقة، هي بالمحصلة خسارة للطاقة، هي بمثابة الاحتكاك في تجربة غاليلي. وهكذا فإن نقل الكهرباء يرافق دوماً بخسارة طاقوية إلا... إلا في بعض المواد مثل الرصاص، الزئبق، التنتال أو الإيتان، فهذه المواد إذا ما وضعت تحت درجات حرارة منخفضة قريبة من الصفر المطلق* (273- سنتيغراد، أي 0 كالفن) فإنها تتمتع بمقاومة معدومة أمام حركة التيار الكهربائي.

تسمى هذه المواد **نواقل عالية**. إذا أمررنا تياراً في دارة من نواقل عالية، فإنه يدور باستمرار دون توقف، وهذا ما يشكل وسيلة رائعة لتخزين الطاقة! نعم، ولكن للحصول على درجات حرارة منخفضة يجب استهلاك، كثير من الطاقة، وعليه فهذا لا يبدو مهماً أو مفيداً. منذ عشر سنوات اكتشفت مركبات عالية الناقلية ولكن بدرجات حرارة أعلى بكثير من الصفر المطلق (في الدرجة +130 أبسولس أو كالفن). وقد أثارت هذه الأعمال آمالاً ضخمة، ولكن درجات الحرارة الضرورية ظلت أيضاً باردة جداً وغالية جداً (طاقوياً وبالتالي مالياً). ولكن مازلنا مستمرين في البحث لأننا إذا توصلنا إلى إنتاج مواد عالية الناقلية في درجات حرارة الوسط المحيط، فإننا سنمتلك وسيلة خارقة لتخزين الطاقة الكهربائية، ولكن هنا تكمن هذه

* سوف نحدده لاحقاً.

المشكلة: يمكننا إنتاج الطاقة، ويمكننا نقلها، ولكن يجب استهلاكها سريعا وإلا خسرناها، إذاً ستتبدد... ولكننا لازلنا بعيدين عن هذا الحلم!

المغناطيسية

ومع ذلك، فمهما بلغت جمالية الطاقة الكهربائية، فلن تكن لتأخذ هذه الأهمية في التطور الصناعي لو لم تكتشف روابطها (كما سنرى، ذاتية الجوهر) مع ظاهرة، أكثر خفاءً من الكهرباء، أعني بذلك المغناطيسية.

تعرف منذ زمن طويل، خاصية الأحجار الممغنطة، أيْ المغانط الطبيعية: يوجد مثل هذه الحجارة في اليونان قريباً من مدينة ماغنيزي Magnésie، الواقعة في اليونان الكبير: التي اشتق منها، كما يرى البعض، اسم المغنطة Magnétisme. معروف أنه يقصد من ذلك فلز هو أوكسيد الحديد، المغناتيت Fe_3O_4. درست خصائص هذا الحجر في الفنون القديمة (أولى الدراسات المعروفة تعود لتالس، رجل الأهرامات والنظريات)، في اليونان، في مصر، وأيضاً في الصين. يبدو أن الصين متقدمة جداً على أوروبا في هذا المجال.

أنجز الخطوةَ الحاسمةَ، في فهم المغناطيسية في الغرب، في القرن الثالث عشر، بيير دو ميركور ثم وليام جلبرت، طبيب الملكة إليزابيت الأولى، الذي نشر في عام 1600 مقالته الشهيرة De Magnete، التي يعتبرها كثيرون إحدى أولى المقالات في الفيزياء التطبيقية الحديثة. دعونا نتذكر بعض المبادئ البسيطة في المغناطيسية. المغناطيس هو جسم يتميز بجذب برادة الحديد أو ببساطة أكثر إبر الخياطة. لكل قضيب ممغنط قطب شمالي وقطب جنوبي. إذا قربنا، القطبين الشماليين أو الجنوبيين لمغناطيسين من بعضهما يتدافعان، ولكن الأقطاب الشمالية تجذب الجنوبية والعكس

بالعكس، إذاً يحدث تجاذب بين الأقطاب المتعاكسة ودفع بين المتماثلة. إذا تركت إبرة ممغنطة موضوعة على محور على سطح الأرض، فإنها تتوجه بحيث أن قطبها الشمالي يشير إلى قطب الشـمال الجغـرافي*. هذه هي البوصلة. منذ عام 1600 فهم وليام جلبرت أن الأرض تتصرف كما لو أنّ في مركزها مغناطيساً عملاقاً. هذا المغناطيس هو الذي يوجه الإبرة الممغنطة، هنا يكمن مفهوم البوصلة. فإلى أي تاريخ يعود اختراع البوصلة؟ يبدو أن الصينيين قد عرفوا البوصلة منذ ألفي سنة، ولكنهم لم يستخدموها للإبحار إلا بعد ذلك بكثير (بحدود 850 إلى 1050 بعد الميلاد). وكان ألكسندر نيكام** قد أدخل البوصلة إلى أوروبا في عام 1190. كما يستدل أن الصينيين اكتشفوا أيضاً الانزياح بين القطب المغناطيسي والقطب الجغرافي، أي الميلان، منذ القرن التاسع بعد الميلاد، وفي القرن الحادي عشر، كانوا يفهمون كثيراً من خصائص المغانط.

ولكن لنعد إلى تجربتنا. إذا قطعنا قضيباً ممغنطاً إلى قسمين، مفتشين عن عزل الجزء الواقع من جهة القطب الشمالي، عن الجزء الواقع من جهة القطب الجنوبي، فسنجد أن ذلك غير مجدٍ. لأنه على كل طرف من الجزأين المتشكلين يظهر أيضاً قطب شمالي وقطب جنوبي. وإذا ما

---

* بالواقع، القطب المغناطيسي يبعد 1300 كيلومتراً عن القطب الجغرافي، المحدد بدوران الأرض. الزاوية المحددة، في مكان ما، بالإبرة المغناطيسية مع الشمال الجغرافي تسمى الميلان.

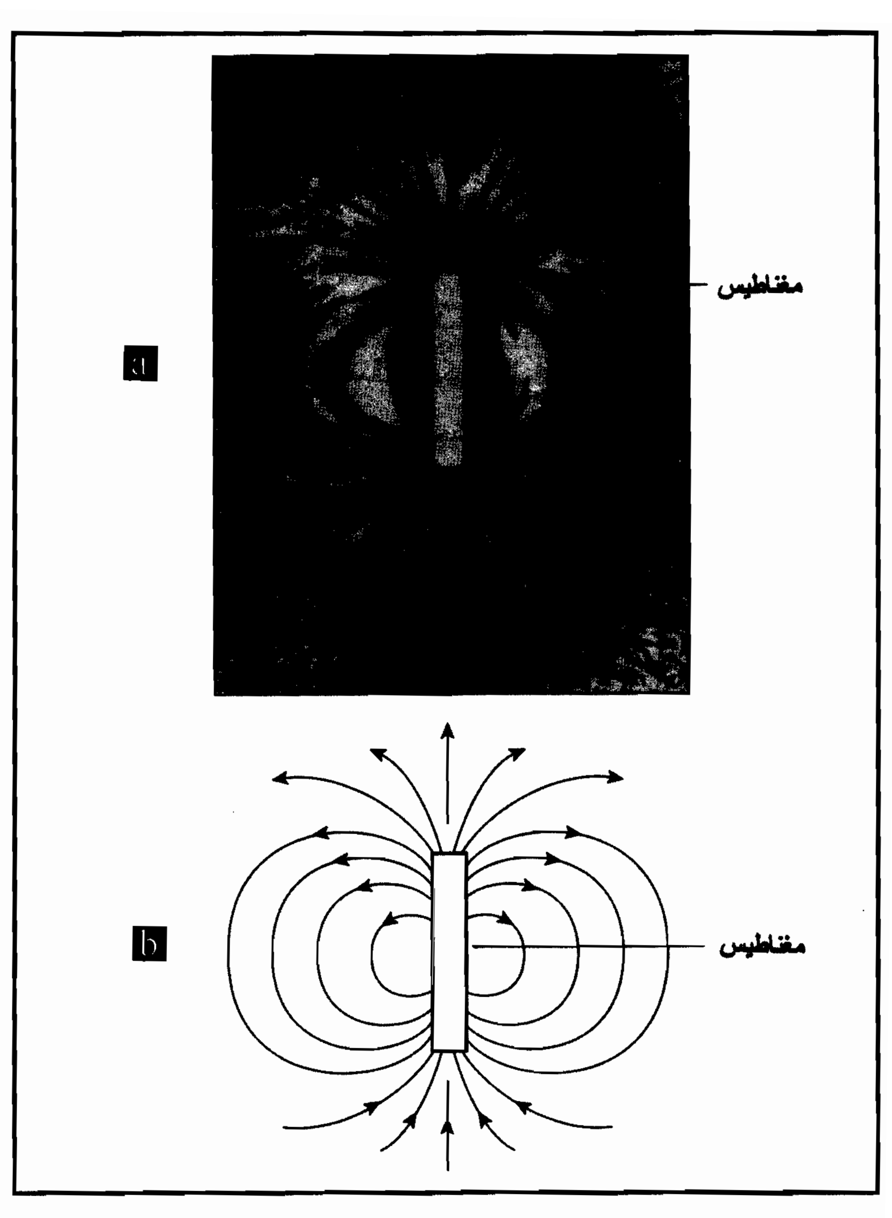
لنشر إلى لفتة صغيرة أخرى: بما أن الأقطـاب مختلفة الإشارة تتجاذب، فإن القطب الشـمالي للإبرة المغناطيسية ينجذب بالقطب الجنوبي المغناطيسي للأرض. إذاً القطب الجنوبي للأرض هـو القريب من القطب الشمالي الجغرافي.

** مؤلَّف: عندما كانت الصين تسبقنا. للمؤلِّف روبـرت ك.ج.تومبـل Robert K.G.Temple مطبعة بوردا، 1987.

قطعنا من جديد كل جزء إلى جزأين فسيحصل الشيء نفسه وذلك حتى اللانهاية. القطب الشمالي لا يمكن تفريقه عن القطب الجنوبي، لا يمكن لأحدهما أن يوجد بدون الآخر. فتش الفيزيائيون عن الأقطاب المغناطيسية الأحادية خلال مئات السنين... ولكن بالطبع دون نجاح. وللعلم فإن بيير دو ميركور كان قد وضَّح هذه الظاهرة في القرن الثالث عشر. خاصية أخرى أساسية للمغانط هي: إذا سخناها إلى درجة حرارة معينة فإنها تفقد مغناطيسيتها. تسمى درجة الحرارة هذه درجة حرارة كوري Curie. لأن بيير وأخاه جاك كوري هما اللذان عرفاها ودرساها بالتفصيل في نهاية القرن التاسع عشر. الواقع أن الصينيين كانوا قد لاحظوا الظاهرة منذ القرن الحادي عشر ومن بعدهم بيير دو ميركور في القرن الثالث عشر، ثم كانت بالطبع، التجربة التي أدهشتنا جميعاً يوماً ما.

إنها تجربة المغناطيس الذي من تحت ورقة عليها برادة حديد، التي بمجرد النقر عليها قليلاً نجد برادة الحديد تصطف وترسم خطوطاً بين القطبين الشمالي والجنوبي بشكل "الأذن المزدوجة" المتميز جداً (انظر شكل 2.6). إذا ما وضعنا إبرة خياطة في نقطة لا على التعيين من الورقة، فإنها تتوجه بحسب الأسهم المبينة والتي تعبِّر عن الحقل.

هذه التجربة كانت قد أجريت من قِبل الموهوب الخارق، غير المعروف بيير دو ميركور في القرن الثالث عشر الميلادي، وكررها جلبرت في القرن السادس عشر وكان الصينيون دون شك قد أجروها في القرن العاشر والحادي عشر، إنها تجربة شاهدة، ولكنها قبل كل شيء أساسية، لأنها هي التي فتحت الباب للدخول إلى **مفهوم حقل القوة**، الذي أدخله إلى الغرب العبقري فاراداي (مع أن الصينيين، هنا أيضاً، كانوا قد اكتشفوه واستخدموه قبل ذلك بكثير).



شكل 2.6

a) التجربة النموذجية لتوضيح ماهية الحقل المغناطيسي: توضع صفيحة من الورق على مغناطيس له شكل القضيب، وعلى الورقة نرش برادة الحديد، فنجد هذه الأخيرة ترسم الشكل الممثل هنا.

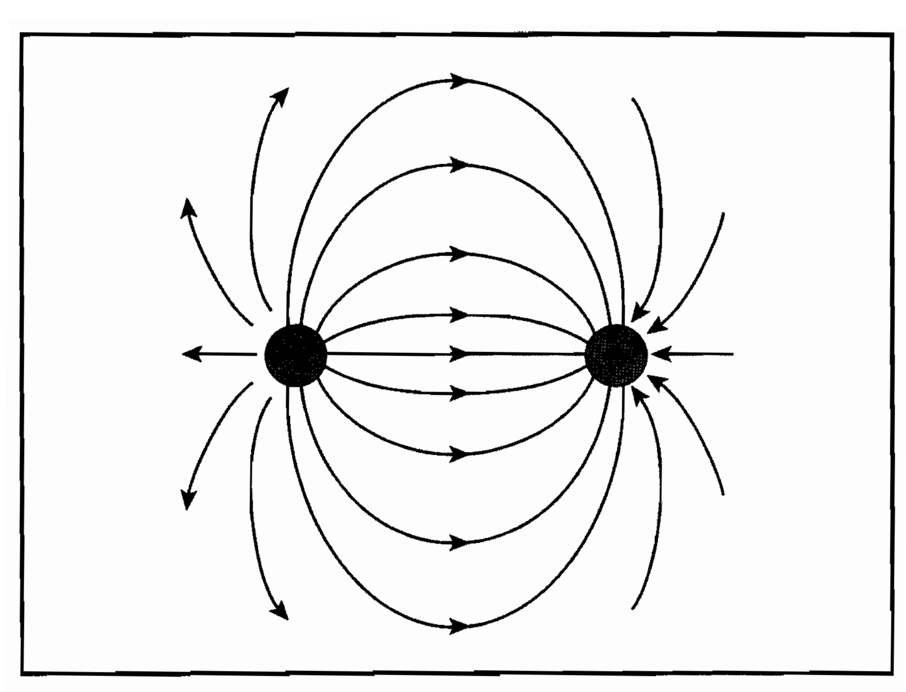
b) شكل الخطوط التي ترسمها برادة الحديد وفي وسطها المغناطيس. هذه الخطوط هي خطوط القوة للحقل المغناطيسي.

حقــل القــوة

لنأخذ من جديد تجربة المغناطيس وبرادة الحديد، فاراداي طوّر البرهان التالي: لنرسم بقلم رصاص شكل حلازين برادة الحديد، ثم نزيل برادة الحديد هذه. في كل مكان من صفيحة الورقة يوجد قوة كمونية، حاضرة غير مادية، ولكن ليست بغير حقيقية، تستطيع، في كل لحظة، أن تتصرف إذا تركت لها الفرصة. وهكذا إذا أخذنا إبرة صغيرة من الحديد ووضعناها على الورقة، التي يوجد تحتها المغناطيس في المكان نفسه، فإنها سوف تتوجه طبقاً للخط المرسوم. يثبت ذلك جيداً أن القوة موجودة، حاضرة، مع أنها غير مادية (بالواقع هناك حقل قوة في كل الفضاء المحيط).

طبقاً لقواعد المغناطيسية، بالطبع، فإن هذه القوة سوف تتناقص عندما نبتعد عن المغناطيس (في هذه الحالة بحسب مقلوب مكعب المسافة). ميكائيل فارداي تساءل: ولكن لماذا لا نمدد فكرة الحقل هذه إلى الكهرباء، إلى الشحنات الكهربائية؟ حول شحنة كهربائية، يجب أن يوجد بالواقع حقل قوة قادر على التأثير على كل شحنة كهربائية، موضوعة في هذا الحقل. خطوط القوة يجب أن تكون متناظرة بالنسبة للشحنة (طبقاً للقانون، مع مقلوب مربع المسافة). سنرى هذه القوى تتظاهر عندما نضع في نقطة شحنة كهربائية، فهذه الشحنة تصبح حقيقية. إذا كانت الشحنة من إشارة الشحنة المركزية نفسها، فسنرى حصول دفع، أما إذا كانت من إشارة سالبة فإنها ستتجاذب.

انطلاقاً من ذلك، تصور ميكائيل فاراداي ما سيكون عليه الحقل الكهربائـي المولد بواسطة ما نسميه ثنائي القطب، أي شحنة موجبـة وأخرى سـالبة، مفصولتين بمسافة محدودة (انظر شكل 3.6). سنرى أن



شكل 3.6

بالقياس مع المغناطيس، إذا وضعنا جنباً إلى جنب، شحنة كهربائية موجبة وأخرى سالبة، يمكن أن نرسم حقلاً كهربائياً نسميه حقلاً ثنائي القطبية.

خطوط القوة تشابه كثيراً خطوط الحقل المغناطيسي المولدة بواسطة مغناطيس. كما في حالة المغناطيس، فإنها سوف تتجسد مادياً ما أن توضع شحنة (جزيئة مشحونة كهربائياً) في مجال خطوط الحقل. لنقُلْ مباشرة، لكي لا نعود بعدها إلى ذلك، أن رؤيتنا لصفيحة الورقة تبسيط ثنائي البعد، وفي الحقيقة فإن خطوط القوة تنتشر في حجم، في الأبعاد الثلاثة من الفضاء.

مفهوم الحقل هذا، الذي طبقه فاراداي على المغناطيس وعلى الكهرباء، يمكن، بالتأكيد، تمديده على ظواهر فيزيائية أخرى. الأبسط والمباشر منها من أجل قوة أخرى على بعد، هو بالطبع الجاذبية الأرضية، القانون العام لنيوتن. حول جسم ذي كتلة، يمكن أن نحدد حقل جذب، أي فضاء محدد، مشار إليه بقيم الجذب الذي تمارسه الجاذبية الأرضية على

وحدة كتلة موضوعة في هذا الحقل. لكن فكرة حقل القوة هذه يمكن تمثيلها بطريقة أخرى، باستدعاء لفكرة الطاقة الكامنة – أو بشكل أعم الكمون. فبدلاً من تمثيل خطوط القوة للحقل، يمكن تمثيل السطوح التي تكون الطاقة في كل منها قادرة على توليد قوة ثابتة (**المقارنة المثلى** هي منحنيات تساوي الارتفاع لسيلان الماء على سطح). هذه السطوح تمثل تخزيناً افتراضياً للطاقة: حقل القوة هو أيضاً حقل كموني.

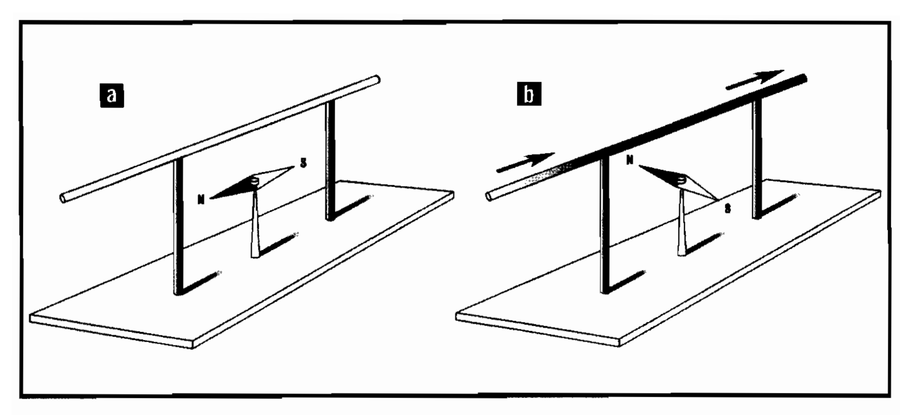
ما هو غريب فهمه هو هذا الحقل الذي هو من جهة افتراضي، إذ أنه لا يتظاهر إلا إذا أدخلنا شحنة (من أجل الكمون الكهربائي)، أو كتلة (من أجل الجاذبية للأرض)، وفي الوقت نفسه هو حقيقي – ملحوظ، ونشط كمونياً، ولا يحتاج إلا إلى التظاهر والتعبير عن حاله. هذا هو السر الكبير للقوى على بعد. نحن هنا نغوص في حقول متعددة إذا سنحت لها الفرصة، تؤثر علينا طبقاً لهذه الخاصية الهامة: كل الحقول من الطبيعة نفسها هي تجميعية، أي أن أثرها وفعلها (القوى) ينضافان إلى بعضها بعضاً. الحقل الكلي هو حاصل الجمع الشعاعي* لكل الحقول. بالطبع، نحن هنا لا نجمع جزراً وبطاطا. حقول الجاذبية الأرضية تجمع مع الحقول نفسها، وحقول الكهرباء مع حقول الكهرباء، والحقول المغناطيسية أيضاً، ولكن يمكن أن يؤثر أحدها على الآخر.

الكهرامغناطيسية

في عام 1820 حقق فيزيائي دانماركي اسمه هانز أورستيد (1777 – 1851) اكتشافاً خارقاً. إذ مرر تياراً كهربائياً في سلك شاقولي، فتبين له أنه يحرف بوصلة موضوعة أفقياً بالقرب منه (انظر شكل 4.6). يؤثر التيار

---

* أي آخذين بالاعتبار مختلف الاتجاهات من الفضاء ومحصلتها الجبرية.

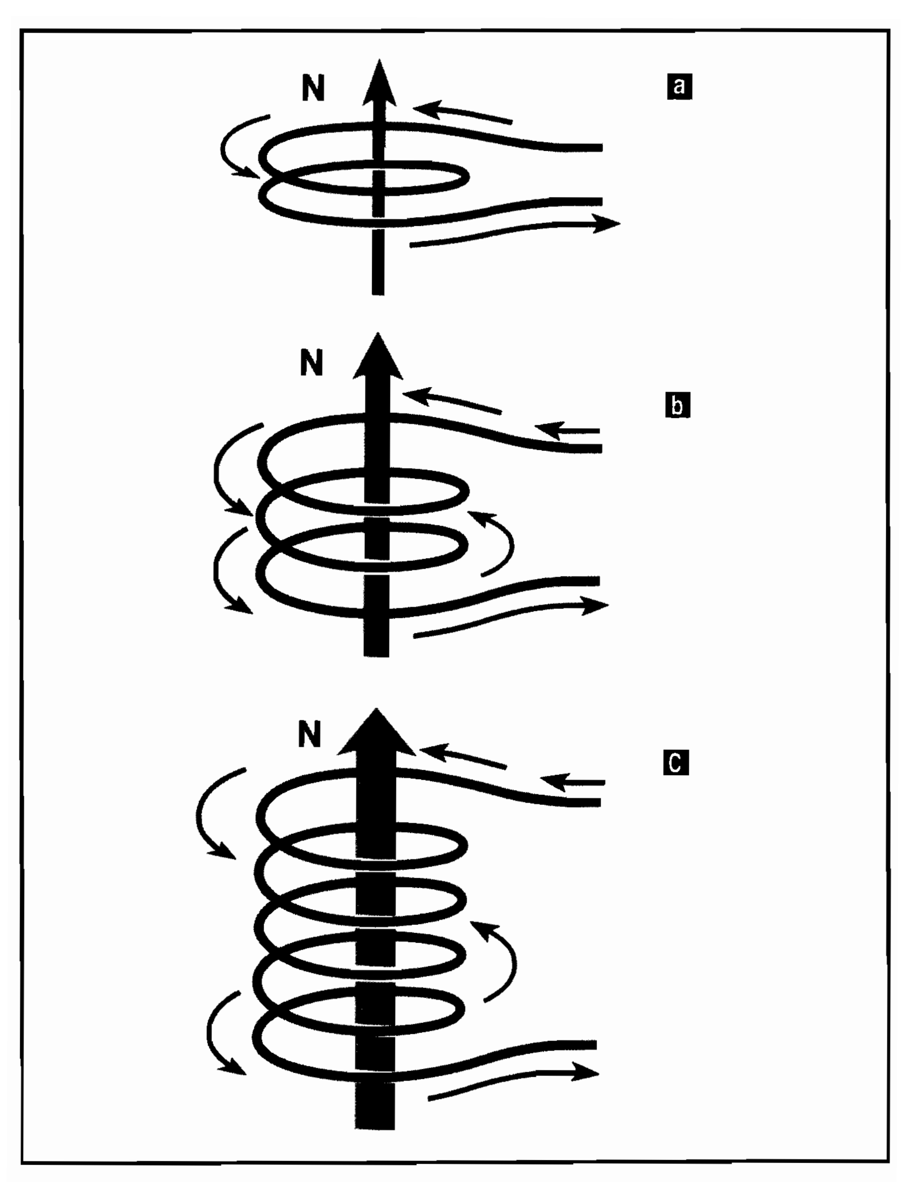


شكل 4.6

تجربة أورستيد الأساسية. بوصلة وسلك كهربائي (a). نمرر في السلك تياراً كهربائياً فتتوجه الإبرة المغناطيسية عمودياً على السلك (b).

الكهربائي على المغناطيس. إذاً فالتيار الكهربائي يولد هو نفسه حقلاً مغناطيسياً. خطوط القوة لهذا الحقل المغناطيسي هي دوائر متمركزة فوق السلك. لكن السؤال المقلوب يطرح نفسه بالطبع. هل أن مغناطيساً يؤثر على سلك كهربائي يمر فيه تيار؟ الجواب إيجابي أيضاً. فإذا ما قربنا مغناطيساً استطاعته قوية بعض الشيء من سلك كهربائي يمر فيه تيار كهربائي فإن السلك ينتقل. هناك إذاً قواعد دقيقة تتحكم في توجه القوة التي تؤثر على السلك بالنسبة لتوجه المغناطيس والسلك. الكهرباء والمغناطيس لهما إذاً تأثيرات متبادلة.

ولكن تجربة ثالثة هي الأخرى مدهشة: لنمرر تياراً في سلكين كهربائيين متوازيين. فعندما يكون التياران في الاتجاه نفسه فإن السلكين يتجاذبان، وعندما يكونان في اتجاهين متعاكسين فإنهما يتدافعان. وهكذا فإن التيارات الكهربائية هي مغانط. إنها لتجارب حاسمة، لأنها أسست لثورة صناعية ثانية عرفها العالَم. لنتصور سلكاً كهربائياً يمر فيه تيار، ولكن له شكل حلقة (دارة). الحقل المغناطيسي الذي ستولده الحلقة سيكون مماثلاً لذلك الذي يولده مغناطيس ذو قطبين شمالي وجنوبي (انظر شكل 5.6). لو



شكل 5.6

a) حلقة تيار كهربائي يولد مغناطيساً.

b) حلقتان تولدان مغاطيساً مضاعفاً للأول.

C) حلقات مضاعفة تولد حقلاً شديداً. بالمقابل فإن حلقات تيار عديدة خاضعة لحقل مغناطيسي متغير تولد تياراً أكثر شدة بكثير من حلقة واحدة.

درنا عدة دورات على السلك، محققين ما يُعبَّر عنه باللغة العلمية سولينوئيد (حلقي Solénoïde)، فإننا سوف نصنع مغناطيساً حقيقياً، ولكنه مستطيع جداً. كلما زدنا عدد اللغات في الحلقة، كان الحقل أكبر استطاعة.

إلى هذه التجارب الأربعة يجب إضافة تجربة خامسة أيضاً خفية وخارقة. ليكن لدينا سلك كهربائي لا يمرر فيه أي تيار. يكفي أن نقربه من مغناطيس طبيعي للتأكد من أن تياراً كهربائياً يمر في السلك. هنا الدارة تكون مغلقة. هكذا فإن الحقول **المغناطيسية المتحركة** تكون هي نفسها، قادرة على أن تولد تياراً كهربائياً، أي حقلاً كهربائياً. هذا الحقل الكهربائي يولد مغناطيساً، ولكن الحقل المغناطيسي يولد بدوره تياراً. الظاهرتان تؤثران على بعضهما بشكل متبادل. وهذا ما نسميه ظاهرة **التحريض**.

هذه التجارب الخمس، التي شكلت أساساً للكهرامغناطيسية، حقَّقها أندريه ماري أمبير (1775 – 1836)، من جهة وميكائيـل فاراداي بين (1820 – 1840)* من جهة أخرى. استنتجا منها أن الحقلين، الكهربائي والمغناطيسي، يؤثر أحدهما على الآخر، يعدل أحدهما الآخر، ولكن يحتفظ كل منهما بشخصيته. إنهما ليسا متماثلين، لكنهما متشاركان.

النظرية الكهرامغناطيسية

الصياغة النظرية لكل هذه التجارب هي نتيجة تراكب أعمال أمبير، فاراداي وقادم آخر (الذي ربح الرهان)، إنه ماكسويل.

أندريه ماري أمبير فرنسي، أستاذ الرياضيات في المدرسة متعددة التقنيات، انطوائي، صامت، منعزل. منذ تجارب أورستيد الأولى، طرح

* ينسب غالباً، إلى أمبير، اكتشاف الحقل المولد بتيار، في حين أن ظاهرة التحريض كانت قد اكتشفها فاراداي. الحقيقة تبدو غير واضحة والمسيرتان مختلطتان بعض الشيء.

المبدأ الأساسي: المغانط والتيارات الكهربائية تنتمي إلى الظاهرة نفسها. تصور إذاً أن المغانط الطبيعية تحمل بذاتها تيارات كهربائية داخلية صغيرة تولد حقولاً مغناطيسية، وهذا ما تفعله أيضاً التيارات في النواقل. في هذه الحالة كما في تلك، نحن نتعامل مع تيارات لشحنات كهربائية باستثناء أن بعضها يسير في داخل المادة. الحقول المغناطيسية لا تولد إلا بالشحنات الكهربائية في حالة الحركة. في السكون، الشحنات الكهربائية لا تولد إلا حقولاً كهربائية. في الحركة الشحنات الكهربائية تخلق حقولاً مغناطيسية. وأمبير وضع كل هذا في معادلة واحدة قادت إلى ما يعرف بقوانين أمبير.

الثاني، ميكائيل فاراداي، هو أحد أكبر النظريين في الفيزياء ومع ذلك فهو لم يستخدم الرياضيات. رجل بدون تربية علمية، لكنه صنع نفسه بقدر التربويين الخارقين، محاضراته الجماهيرية بسَّط من خلالها الفيزياء، جامعاً حوله اللندنيين. وضع، بفضل مسيرة منطقية، بكل ما لهذه الكلمة من معنى، أساس الكهرامغناطيسية. ما هو مدهش وغريب أن هذا العالم والتربوي لم يكن متعلماً ولا طالباً.

وأخيراً الثالث، جيمس كلارك ماكسويل، إيقوسي، أستاذ في كامبريدج، حقق تركيباً (توليفة) خارقاً لأعمال الاثنين السابقين حافظاً لهما الإجلال والإكبار.

يتمتع ماكسويل بكل لياقة أخلاقية جميلة، وكذلك علمية. رياضي نبيه، لخَّص جميع ملاحظات سابقيه (الذين لم نذكر منهم إلا البعض الأكثر أهمية)، وقلَّص المعادلات التي وضعها أمبير في أربع معادلات جديدة: معادلات نسميها الآن معادلات ماكسويل. إنها واضحة، دقيقة ورائعة. معادلتان تصف كل منهما على حدة خصائص الحقول الكهربائية والحقول المغناطيسية. اثنتان أخريان تصفان (وهما الجزء الأكثر جاذبية) التداخل

بين الحقلين الكهربائي والمغناطيسي، تلك التي حاكمها أو لاحظها أمبير وفاراداي. النتائج المترتبة الهامة وغير المتوقعة التي نجمت عن هذه المعادلات هي وجود **شعاع كهرامغناطيسي**، وهو المحصلة الأساسية والأصلية لماكسويل.

المـــذيـــاع

عندما ولَّدنا مصادفة تياراً (أو جعلنا شدته تتغير)، فإن حقلاً مغناطيسياً قد تولد. هذا الحقل المولد يبتعد تدريجياً عن السلك منتشراً شيئاً فشيئاً. ثم إن هذا الحقل المغناطيسي يولد بدوره حقلاً كهربائياً "ثانوياً"، يستقر هو أيضاً كلما ابتعدنا عن السلك. الحقل الكهـــربائي "الثانــــوي" المولد هكذا يولد هو نفسه حقلاً مغناطيسياً، وهذا بدوره يولد حقلاً كهربائياً... إلخ. تدريجياً وشيئاً فشيئاً سوف تنتشر موجة. إنها موجات المذياع التي نلتقطها في أجهزتنا. المرسل، هو تذبذبات لتيار شديد جداً. المستقبل هو جهاز يحول هذه الموجات عبر غشاء مهتز، لإعطاء صوت يسمع.

ولكن بأية سرعة تنتشر هذه الموجات؟ **حصل ماكسويل على قيمة قريبة من تلك التي قاسها فيزو من أجل سرعة الضوء.** هنا أظهر عبقرية متسائلاً: "**إذا كانت الموجات تنتشر بسرعة الضوء، فليس هذا مصادفة، بل يعني أن الضوء هو نفسه موجة كهرامغناطيسية**" هذا هو التفسير للطبيعة الموجية للضوء، الذي ليس اهتزازاً، ليس ميكانيكياً كالصوت، بل هو اهتزاز ينتشر لأن الحقول الكهربائية والمغناطيسية تنتشر لتوليده. في بادئ الأمر أعاد الاعتبار لفكرة الأثير، وسط وهمي يملأ كل شيء (حتى الفراغ) ولا نراه، فكرة عزيزة على هويغن، ثم ترك الأثير وقَبِل أن هذه الموجات تنتشر في كل مكان حتى الفراغ.

هذا العمل الرائع، المدهش، الذي يُعدُّ اليوم أحد الآثار الأكثر كمالاً في الفيزياء بمستوى الميكانيك نفسه، النسبية أو الميكانيك الكوانتي، لم يقبل كما هو فوراً. كثير من الشكوك كانت تحيط به. فكرة أن التيارات الكهربائية المتغيرة تبث موجات، كانت تبدو مشكوكاً فيها. أين تمت رؤيتها؟ أين توجد؟ الذي برهن على وجودها تطبيقياً هو الألماني هينيريش هرتز (1857 – 1894)، وذلك في أوكتوبر 1886، أي بعد سبع سنوات من موت ماكسويل (الذي مات بالسرطان عن عمر بلغ 49 سنة).

قام ماكسويل باستخدام ثنائي أقطاب كهربائي (مرسل)، تنطلق منه شرارات لتوليد تيار كهربائي في دارة موضوعة على بعد عدة أمتار (مستقبل). ثم أبعد دارة الاستقبال شيئاً فشيئاً: فرأى أن التيار الواصل يضعف أكثر فأكثر. وكان هرتز قد برهن على أنه يمكن توليد موجات ماكسويل الشهيرة هذه ونقلها في الهواء (وحتى في الفراغ)، واستقبالها على مسافات، بتحويلها مادياً تحت شكل تيارات كهربائية صغيرة. التجربة هي التي تنتصر دوماً وإنها لعدالة ما نطلقه اليوم على موجات المذياع "موجات هرتزية" بدلاً من موجات ماكسويلية. ولكن لابد من الإشارة إلى أن ماكسويل قد استنتجها من معادلاته وتوقعها قبل اكتشافها.

غير أنه لكي نكون عادلين، لابد من تسجيل التتابع المجيد بكامله: أورستيد (عابر ولكنه أساسي)، فاراداي، ماكسويل وهرتز. هذه هي الملحمة، كل بطل لعب دوراً رئيسياً، في مكانه المحدد. كل غالبية هؤلاء الممثلين عاصروا بعضهم وأُعجبوا ببعضهم بشكل متبادل، دون أن يمنع ذلك من أن نشير إلى الأصالة الخاصة بكل منهم، كما تشهد على ذلك الرسالة التي كتبها ميكائيل فاراداي إلى جيمس ماكسويل والتي يمكن لبعض الفيزيائيين العصريين أن يكتبوها لبعض النظريين:

"هناك شيء أحب أن أسألك إياه. عندما يتوصل رياضي منكبٌّ على دراسة الأفعال ونتائجها الفيزيائية، إلى نتائجه، ألا يمكن صياغة هذه النتائج بلغة مشتركة، وبطريقة أيضاً كاملة، واضحة ونهائية إلا بصيغ رياضة؟ إذا كان الجواب نعم، أفلا يكون من حظ أشخاص مثلي أن يصوغوها هكذا، مترجمة بعيداً عن هيروغليفيتها، بحيث نستطيع أن نتعامل مع التجارب؟ أعتقد أنه يجب أن يكون الأمر كذلك لأنني وجدت دوماً أنك كنت تتوصل لأن تنقل لي فكرة واضحة تماماً عن نتائجك التي مع أنها لا تسمح لي أن أفهم بشكل كامل، المراحل الفعلية لعملياتك، فإنها تقدم لي النتائج كما هي دون أدنى مواربة عن الحقيقة، وواضحة جداً كما لو أنها مستمدة من هذه العمليات، فأستطيع أن أفكر وأن أعمل. إذا كان ذلك غير ممكن، أفليس من المستحسن أن يقدم لنا الرياضيون، الذين يعملون على هذه المواضيع، النتائج بحالة قابلة للاستثمار مفيدة ومبسطة للعموم، إضافة إلى الشكل الخاص بهم"؟.

ضــوء وطــاقــة

يمكن لنا أيضاً، بمساعدة معادلات ماكسويل، فهم الترابط المشهور بين الضوء والطاقة. الضوء ينقل طاقة كهرامغناطيسية، ولهذا عندما ينير الضوء جسماً، فإنه يسخنه مباشرة بدون وسيط. إنها الطاقة المنقولة بواسطة الحقول الكهربائية والمغناطيسية. وهكذا فإن طاقة الضوء تتحول إلى الجسم الذي تتداخل معه من خلال اهتزازاتها (سنرى لاحقاً من أين تأتي). عندما تصل هذه الاهتزازات إلى المادة، فإنها تتفاعل مسببة بدورها اهتزازها ومسخنة إياها. هكذا ينقل الضوء الطاقة، ويمكن أيضاً أن يحدث ناراً.

لا أستطيع بهذه المناسبة أن أمنع نفسي من أن أروي هذه الطرفة الصغيرة عن بناء مكتبة فرنسا المسماة الآن فرانسوا ميتران. فلإنجاز هذا

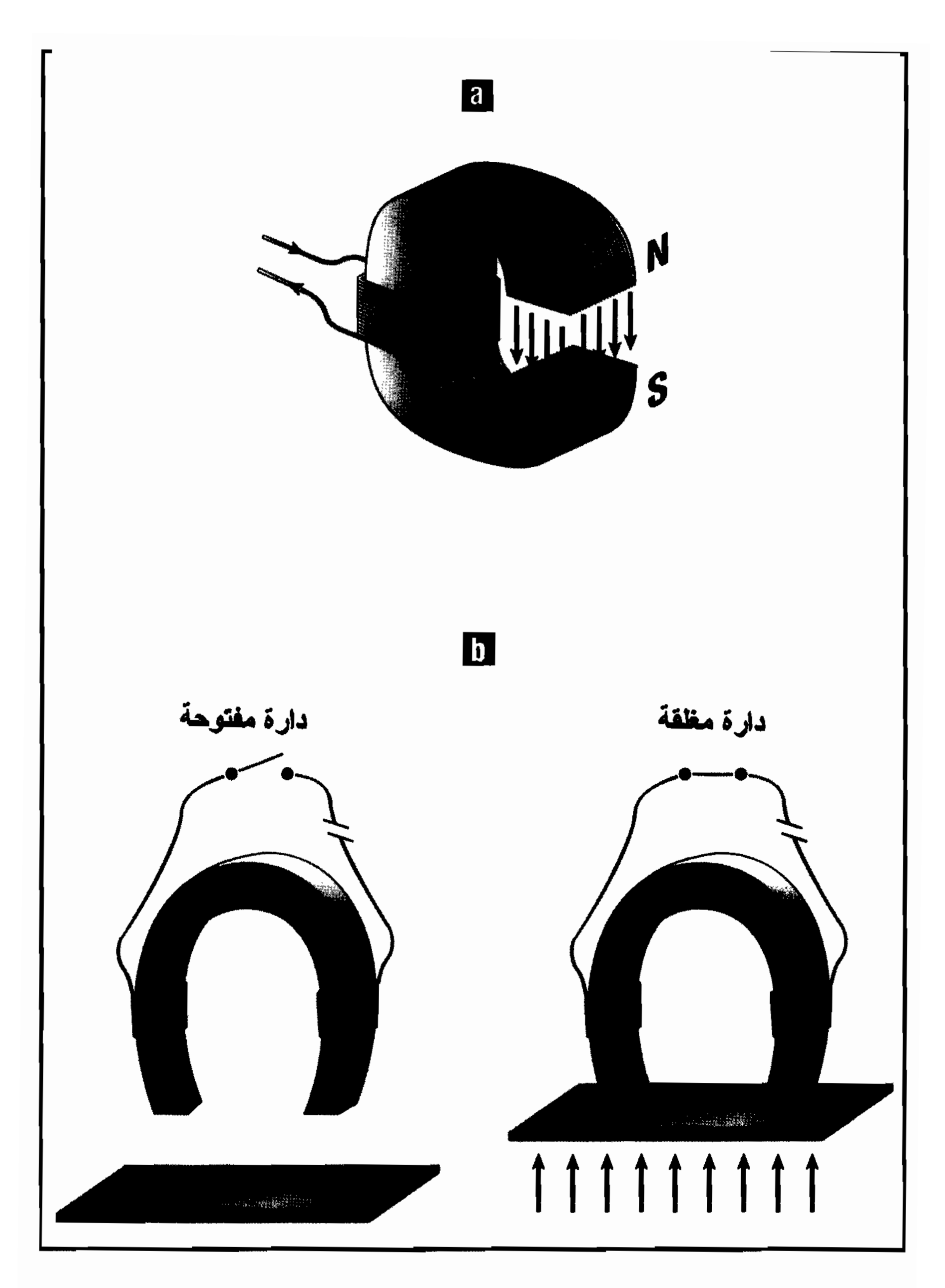
المشروع الذي ابتكره جاك أتالي، أُعلن عن مســـابقة لتصميم معماري له، وبعد زيــارة للنماذج المتسابقة، اختار فرانسوا ميتران مشروع المهندس المعماري الدانماركي دومينيك بيرو Perault. يشمل هذا المشروع أربعة أبراج ضخمة من الزجاج، نستطيع رؤيتها الآن. لم يكن إيمانويل لوروا لادوري E.Le Roy Ladddurie، مدير المكتبة الوطنية عندئذ، ليحتاج كثيراً من الوقت كي يلاحظ أن تخزين الكتب خلف جدران زجاجية ليس منصوحاً به. أجاب المهندس المعماري أنه أخذ ذلك بعين الاعتبار، وأن البرج سوف يكون مكيفاً. جهد الفيزيائيون للشرح له بأن الأمر لا يتعلق بذلك، وبأن الضوء سوف ينقل الطاقة بالإشعاع مباشرة، وبالتالي سيسخن الكتب حتى ولو كان مُكيَّفاً. المعماري لم يتراجع عن رأيه وأصر على الزجاج الأبيض. ودون الإطالة لما حصل من تغيرات، فالنتيجة هي أنكم ترون اليوم أننا اضطررنا لوضع ألواح خشبية عاتمة قابلة للتوجيه خلف الزجاج الأبيض وبالنتيجة الجمالية التي ترونها. إذاً لو أن الضوء نقل الحرارة فإنها ستكون **طاقة كهرامغناطيسية.**

الكهرامغناطيسية ودعامات الثورة الصناعية

لنبدأ بشاهدين مشهورين أحدهما من ميكائيل فاراداي، الذي سأله رئيس الوزراء البريطاني غلاستون Gladstone:"ما فائدة اكتشافاتك كلها؟" (سؤال لا ينكره مسؤولونا السياسيون الحاليون، ومن جهة أخرى طرح هكذا سؤال ليس غير شرعي). أجاب فاراداي: "لا تقلق يا ســيد رئيس الوزراء، سيكون باستطاعتك قريباً تحصيل ضرائب عن كل هذا!". الثاني هو الشاهد المشهور عن لينين: "الشيوعية هي السوفييت والكهرباء؟" يقال أن السوفييت يخضعون بسرعة أكبر من الكهرباء.

بعد أن استعرضنا ذلك فلابد من التأكيد على أن الكهرباء كانت مفتاح التطور الصناعي في القرن العشرين، وسمحت بالسيطرة الاقتصادية على العالم الجديد. لأن الأسطورة الكهربائية خارقة لدرجة أنها كانت من وجهة نظر أساسية، قاعدة للتطور الصناعي.

اكتشاف أساسي كان هو الكهرامغانط. لقد قلنا أن سلكاً كهربائياً ملفوفاً "بشكل مفتاح سدادات" يعادل مغناطيساً. ولكن الخارق، هو أنه عندما نلف سلكاً كهربائياً حول قطعة من الفولاذ أو الحديد الطري، ونمرر فيها تياراً، نتحقق من أن قضيب الفولاذ تحول إلى مغناطيس قوي مجهز بقطب شمالي وقطب جنوبي. نحن هنا بصدد ظاهرة تحريض فائقة: التيار الكهربائي ولَّد حقلاً مغناطيسياً وهذا بدوره حرض حقلاً مغناطيسياً في الحديد الطري وبالتالي مغنطه. إذا لوينا قضيب الحديد، فإننا نخلق فضاء ضيقاً (مابين الحديد) بين القطب الشمالي والقطب الجنوبي (انظر شكل 6.6). في هذا الفاصل يسود **حقل مغناطيسي شديد**، يمكن استخدامه بطرق عديدة، مثلاً لرفع الأثقال (ولتركها بسهولة بقطع التيار). انطلاقاً من هذه التجربة، فإن صنع محرك كهربائي لم يعد أكثر من قضية وقت. حتى الآن الكهرباء ودراستها، وخاصة استعمالاتها، عانت كثيراً من ضعف استطاعة المولدات. تم بادئ الأمر صنع أنواع من الدواليب مجهزة بمحكات احتكاك من جلد القطة. الكهرباء المستردة لم تكن شديدة بشكل كافٍ. ثم برز فولتا وبطاريته، وكان يفترض أن تسير الأمور هنا بشكل أفضل خاصة لو توفرت الأموال لاقتناء بطاريات بقوة 300 أو 1000 وحدة متصلة، وهي كما قلنا، يمكن جمعها مع بعضها. ولكن يجب ألا تتصوروا، مع ذلك، إرسال تيار كهربائي من باريس إلى مرسيليا (مدينة فرنسية في الجنوب) مولد ببطاريات فولتا. باختصار، بقيت الكهرباء في مجال المخابر. لكن الحال ستكون بشكل آخر بعد أن اخترع فاراداي المحرك الكهربائي.



شكل 6.6

a) كهرامغناطيس مكون من أسلاك كهربائية ملفوفة بشكل حلازين كثيرة حول قطعة حديد يمكن طيها. عند إمرار تيار في السلك، يولد حقلاً مغناطيسياً بين الفكين المعدنيين.

b) هكذا يمكن رفع كتل حديدية أحياناً ثقيلة جداً.

لنفترض أننا نلوي إطاراً، تلف عليه أسلاك كهربائية في الفاصل مابين الكهرامغناطيس. سوف نولد في الإطار تياراً (انظر شكل 7.6). هذا التيار المتولد خلال الدوران سينقلب في كل نصف دورة، لأن الحقول المولدة ستنقلب. هكذا نكون قد أوجدنا مولداً للتيار، ولكنه تيار متناوب، تذهب حركات شحناته تارة في اتجاه وتارة أخرى في الاتجاه الآخر. إذا استطعنا من خلال توليفة ميكانيكية داهية أن نقلب كل نصف دورة وصل الأسلاك الخارجة من الإطار مع الدارة الخارجية، فإننا نولد تياراً كهربائياً مستمراً، غير أننا نستطيع ترك الظاهرة تولد تياراً متناوباً. المحرك الكهربائي هو وشيعة كهربائية تدور في حقل مغناطيسي.

مقومات ازدهار الرأسمالية الأمريكية

بدءاً من هذه اللحظة ستدور المعركة التقنية الرأسمالية الأكثر رهبة في التاريخ الحديث. التيار المستمر ضد التيار المتناوب. أول الممثلين في هذه **الساغا***، هو الأمريكي إديسون (1847 – 1931). يروى أنَّ أساتذته في العلوم طردوه من المدرسة، إذ كانوا يأخذون عليه طرحه الكثير الكثير من الأسئلة في الصف (يا للأسف فهو خَطَر لا يركبه إلا القليل من الطلبة الفرنسيين**، ولكن لم لا نشجعهم على ذلك منذ حداثة أعمارهم!).

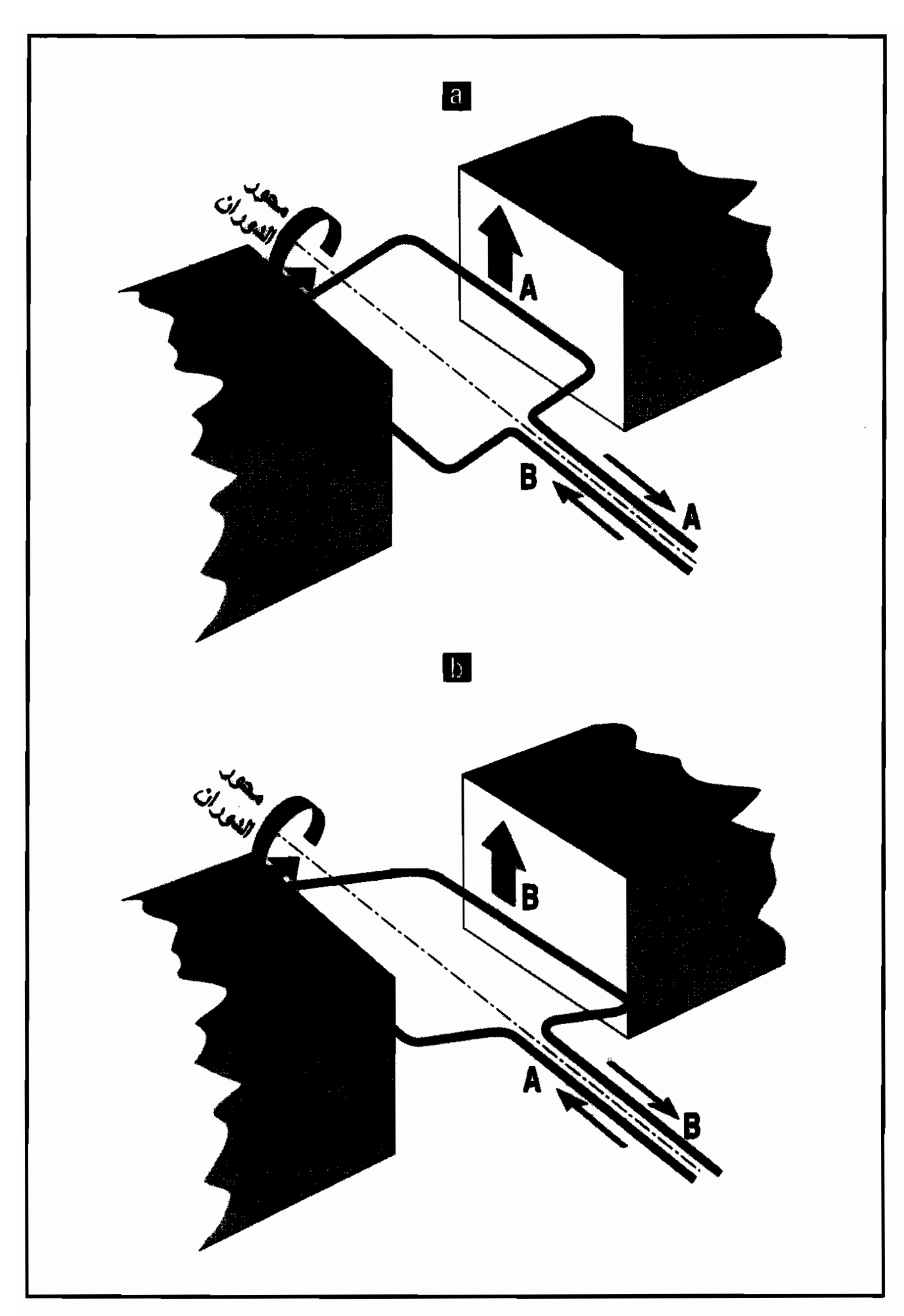
إنه عاطل عن العمل، كون مؤسسته الأولى في عمر اثني عشر عاماً من خلال بيع الصحف في القطارات، في قمة الازدهار الأمريكي. ولكنه كان مشغوفاً بالعلوم، وكان يقرأ كتب فارداي وماكسويل. اخترع في عام 1880 الحبابة الزجاجية (اللمبة) الكهربائية العملية***، بجعل تيار كهربائي

---

* ملحمة عائلية تدور على مدى عدة أجيال، والمشهور منها سكانديناڤية. **المترجم**

** وأما السوريون فلا سؤال البتة. **المترجم**

*** اخترعها السير جوزيف سوان أيضاً في الوقت نفسه، ولكن بنجاح أقل.



شكل 7.6

عندما يتم تدوير إطار لف عليه سلك، فإننا نسترجع تياراً كهربائياً في الاتجاه المشار إليه، أي أنه ينقلب كل نصف دورة.

ضعيف الشدة يمر في سلك من الكربون (أي بمقاومة عالية) موضوع في حبابة مفرغة. ملحمة الحبابة الكهربائية استمرت على مدى قرن. وهذا الاختراع العبقري تطلَّب وقتاً قبل أن يصبح مقبولاً.

في عام 1811 كان همفري دافي قد نجح بإحداث شرارات ضوئية بين قطبين من الكربون، يقربان من بعضهما بعضاً. في منتصف القرن تصور ليون فوكو (فوكو النواس، هو دوماً) توليفة تأرجحية تسمح، مع تقدم الاحتراق، باستبدال الكربون الذي كان يشتعل، مع استمرار الوميض. ثم تم اختراع حبابة كانت، من أجل أن تضيء، تعمل بمقاومة كهربائية ضعيفة، أيْ بشدة قوية، وكانت إذاً خطيرة. هذه هي الحال كما كانت عليه في عام 1880.

وبموازاة ذلك، ظهر المصباح الذي يعمل بالبترول، وحل محل الشمعة القديمة. في المدينة كانت المصابيح التي تعمل بالغاز قد شاعت. باختصار بقي استخدام الكهرباء كوسيلة إضاءة محدوداً ومنافساً بشدة. لنتذكر مصابيح الغاز في المدينة في بداية القرن العشرين كما نراها في (الأفلام) القديمة.

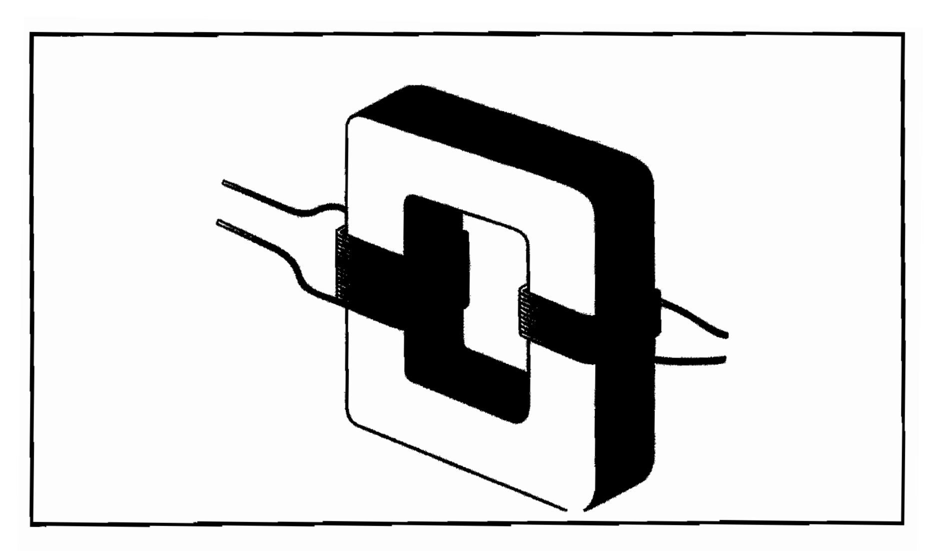
اخترع إديسون الحبابة ذات التوهج، والتي تعمل بتيار مستمر وفولتاج 110 فولت. تتمتع هذه المصابيح بميزة أنها يمكن أن توضع بالتوازي*، ولذلك فلا تنطفئ كل المصابيح لانطفاء واحدة منها (في حين أن المصابيح كانت في الماضي توصل على التسلسل). وإذاً فالأبنية صارت تزود شيئاً فشيئاً بمحركات كهربائية لتوليد تيارات 110 فولت.

---

* مفتاح النجاح المصباح إديسون يكمن في حقيقة وضع سلك الكربون في الفراغ حتى لا يتأكسد وفي الوصل على التوازي.

في هذا الوقت كان يتم استكشاف خصائص التيار المتناوب، الأسهل إنتاجه بفضل السولينوئيدات الدوارة، وتبين أن هذا التيار المتناوب يسمح بحمل الأسلاك الكهربائية على التوهج تماماً مثل التيار المستمر. "الاحتكاك الكهربائي" بين إلكترونات متحركة ونوى ذرية كان مماثلاً، بحيث يوجد تيار مستمر أو تيار تناوبيّ، جيئة وذهاباً. محامي استخدام التيار المتناوب في الولايات المتحدة الأمريكية كان شاباً مهاجراً صربياً؛ هو نيكولا تسلا (1856 – 1945). وهكذا نشبت معركة حامية الوطيس بين مؤيدي التيار المستمر (إديسون) وأولئك الداعمين للتيار المتناوب. تسلا، أقنع بمشروعه، الرأسمالي وستينغهاوس Westtinghouse، فاقترح استبدال كل أشكال الطاقة الثابتة والإضاءة المنــزلية بالكهرباء. من أجل ذلك، كان لابد من تغيير المقياس. وبدعم من وستينغهاوس، باشر ببناء أولى المراكز (المحطات) الكهربائية.

بمبدأ المحرك الدوار نفسه، تُبنى المراكز الكهربائية التي تستخدم الشلالات الطبيعية للأنهار الكبيرة مثل شلالات نياغرا. حدث ذلك في حدود عام 1895. المشكلة التقنية التي اصطدم بها كانت جديدة جداً: كان يجب من الآن فصاعداً نقل كميات هائلة من الكهرباء، لمسافات كبيرة جداً للوصول إلى المدن الكبيرة: بيفالو، ثم نيويورك أو بوسطن. التيار المستمر أتعبه كثيراً ليلبي طلباً كهذا. لنقل ميغاواتات للحصول على تيار 110 فولت، كان الأمر يتطلب شدات هائلة (100000 أمبير!). الواقع هكذا فمن أجل شدات كهذه، فإن الأسلاك ستسخن ونخسر كثيراً من الطاقة أثناء النقل. بالمقابل التيار المتناوب كان يقدم حلاً ظريفاً. إذ أنه كان قد اختُرِع جهاز هائل: محول التيار. وشيعتان من السلك حول إطار من الحديد اللين، لا يلزم أكثر من ذلك لتحويل شدة التيار من جهة إلى أخرى (انظر شكل 8.6). النسبة بين الشدتين تساوي النسبة بين عدد الدورات بين جهة وأخرى. إذاً نبدأ



شـكل 8.6

مبدأ المحول. تلف حلازين حول قضيب ممغنط مغلق. يمرر تيار متناوب في إحدى اللفات، فيولد تيار كهربائي متناوب في اللفة الأخرى. النسبة بين الفولتاج تساوي النسبة بين الحلزونات. كلما كان هناك لفات حلزونية كان الفولتاج عالياً.

بتيار من عدة كيلوات فولت عند مخرج المركز، ونحوله إلى تيار من 500 كيلوفولت، ننقله بشدة ضعيفة بواسطة حبال ثخينة (كابلات) (من هنا التعبير "خط عالي التوتر")، وعند الوصول يعيد محول آخر التيار إلى 110 فولت، ويوزعه للمستخدمين. والمصباح الذي ابتكره إديسون ليس أحسن إضاءةً.

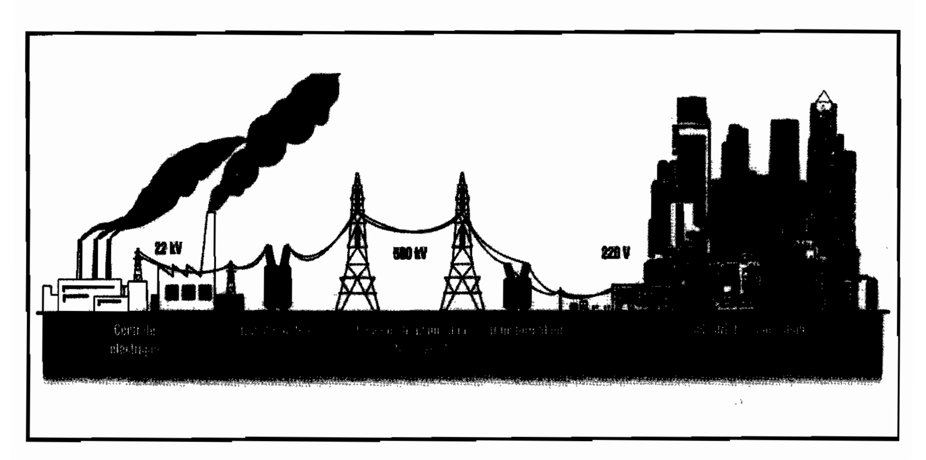
وهكذا فإن ضخامة واتساع الأراضي الأمريكية سمحت بانتصار التيار المتناوب (انظر شكل 9.6)، وسمحت أيضاً بانتصار تسلا وثروة وستينغهاوس. ولنختتم هذه التحليقة السريعة (ولكن الأساسية) تحليقة الطاقة، بأن التطورات الحديثة لم تغير معطيات القضية.

في المحطات (المراكز) الحرارية يحرق الكربون أو البترول لتدوير توربينات (عنفات) والحصول على كهرباء. وفي المحطات النووية، تستخدم، الطاقة النووية أيضاً، لتسخين الماء لتدوير التوربينات (العنفات)

وإنتاج الكهرباء. وفي المحطات الهيدروليكية تحول الطاقة الكمونية لسقوط الماء إلى طاقة كهربائية.

في الطرف الآخر من السلسلة، فإن العمليات مقلوبة، فالطاقة الكهربائية تحول إما إلى طاقة ضوئية (إضاءة)، وإما إلى طاقة ميكانيكية (محرك)، وإما إلى طاقة حرارية (تسخين). في كل الحالات لنلاحظ أنه لم يتمكَّن من تصنيع طاقة. تم تحويل شكل للطاقة إلى أشكال أخرى من الطاقة، مع أنه في جميع الحالات تقريباً، فإن الطاقة الكهربائية تميل لأن تصبح العامل الجامع. لا يوجد إلا مجال واحد، تعدت الأمور فيه مرحلة تحولات الطاقة الحرارية – الطاقة الميكانيكية، عبر المرور بالطاقة الكهربائية: إنه مجال النقل. الطاقة الكهربائية حتى الآن لم تتدخل حقيقة إلا في القطارات. لنصبر قليلاً. سيأتي ذلك.

على الجبهة الأخرى، جبهة موجات المذياع التي ناقشها ماكسويل واكتشفها هرتز في عام 1895، اخترع ماركوني أول تلغراف بدون سلك.



شـــكل 9.6

مصور لنقل الكهرباء في تيار متناوب بين مركز كهربائي ومدينة كبيرة. يستخدم من أجل هذا النقل خصائص المحولات.

وحقق في عام 1901 أول اتصال عبر الأطلنطي. عالم المذياع، مجال التلفاز، كانا في تقدم. من كان يتوقع أن كل ذلك سيكون على أيدي هؤلاء الرجال، مثل بنجامين فرانكلين، الذي كان يفرك العنبر بجلد القطة ويجذب نتفاً من الورق... هذا هو البحث العلمي. بماذا سيفيد؟ إنَّه للفهم أولاً ومن ثم بعد... لاكتشاف ما لم نتوقعه!

عظمـــة أمريكـــا

عظمة أمريكا، أنها فهمت ذلك. ونفذت هذه الفكرة. لنرَ ماذا نجم عن ذلك اليوم. من أين جاءت الثورة المعلوماتية؟ من اختراع الترانزيستور، من قِبل فريق بحث كان يحاول فهم كيف أن التيار الكهربائي كان ينتشر في الأجسام الصلبة المعقدة، ثم من تطور البرمجيات (software) بفضل مبادرة طالب قديم من هارفارد اسمه بيل غيتس. أمريكا مجهزة، بل مهيأة لكي تصل أولاً. بفضل بحث علمي مدعوم جداً من الصناعيين وغيرهم، لا بالانشغال بهموم تحقيق مردودية فورية.

يجب ألا ننسى أن الاكتشافات ذات المردودية الأعلى هي تلك غير المنتظرة. ومن هنا هذا الدعم دون تردد للبحث الأساسي في الجامعات. يتميز كل العلميين بثقافة تكنولوجية متطورة جداً. كثيرون من العلميين الأمريكيين يعرفون إصلاح سيارة أو محرك كهربائي مع همٍّ، عند الكل، لتحويل بحوثهم إلى اكتشافات مفيدة. ليس الصناعيون فقط هم الأكثر ترصداً للاكتشافات الجديدة، إذ أن المؤسسات الكبرى لديها، كما في أوروبا، أعمالها الإدارية، أما الأساتذة وطلاب الدكتوراه فهم مهمومون دوماً، باستثمار اكتشافاتهم: إنهم يخترعون، يكتشفون ويخلقون حملات التطوير.

وما تبقى، يؤمن من اتساع البلد أي من الاختيار بين الاكتشافات والتطوير السريع للأهم، بفضل سوق تحب كل جديد.



7

المصادفة في نجدة الذرات والجزيئات

عندما يؤكد العلميون أن خصائص الجزيئات تحدد خصائص المركبات الكيميائية التي يمكن تحسسها وهي: الرائحة، الألوان، القساوة... إلخ، فإن السؤال المطروح عليهم مباشرة هو بالتأكيد التالي: ولكن كيف يمكن الانتقال من بنيات الجزيئات، عبر خصائصها، إلى خصائص الأشياء الكبيرة، تلك التي نراها ونلمسها، عندما نعرف أنه يجب مضاعفة أبعادها بعامل من مرتبة 10^{24}، للمرور من مقياس الجزيئة إلى المقياس "المحسوس"؟ كيف يمكن لنا تحويل خاصة ميكرسكوبية* microscopique إلى المقياس الماكروسكوبي*macroscopique؟.

من أجل فعل ذلك، من غير المفيد حصر أو مطابقة خصائص جزيئتين، ثلاث جزيئات، أربع جزيئات، عشرة آلاف... مليار جزيئة، ألف مليار للوصول إلى الأبعاد التي نلحظها. الحواسيب الأكبر والأضخم قد لا تكون قادرة على الوصول إلى ذلك حتى ولو قلبناها ليلَ نهارَ على مدى ألف سنة.

* ميكروسكوبية على مستوى المجهر أي صغيرة من مقياس الميكرون، أما ماكروسكوبية فهي على مقياس أكبر، بين المجهر والعين المجردة. **المترجم**

إذاً ما العمل؟ الجواب: باستخدام حساب الاحتمالات والحساب المشتق منه الذي يسمى الإحصاء. هذه المقاربة الاحتمالية والإحصائية هي بدون شك الأكثر ابتكاراً ومقدرة من كل ما اخترعته الفيزياء.

حساب الاحتمالات

في الغرب، يعيدون حساب الاحتمالات إلى باسكال، بالرغم من العثور على مكعبات زهر النرد (حتى ولو أنها مزورة)، في كنوز قدماء فراعنة مصر. كثيرون من المؤرخين قالوا أن لعبة زهر النرد، مورست منذ زمن بعيد في الهند، وعند العرب، وهذا دون شك صحيح، وأن العرب استفادوا من المعرفة الهندية، مع أن ذلك لا يذكر غالباً. إن قراءة ماهابهاراتا Mahabhararta (التي تستغرق زمناً طويلاً رغم النسخات المختصرة منها)، تبين بوضوح ما يمكن أن يكون المجتمع "الاحتمالي". إذ أن الأمر لا يتعلق فقط بالنساء، والممالك، والحرية، التي تتقاذف النرد، بل لأن مجمل هذه الملحمة هي نفسها احتمالية، وبالتالي فهي غير مؤكدة، متغيرة، مدهشة، وأيضاً، وهذا ما يجب قوله، مضللة ومحيرة لعقولنا (والمقصود اليونانيين)، التي هي في بحث دائم عن التبسيط. بكل أسف، دعونا إذاً، نترك الهنود وجيرانهم، هذا العالمَ الكثيف الملبد والاحتمالي ولنعد إلى باسكال.

إن احتمالية حدثٍ ما، هي العلاقة بين عدد الحالات المنفذة وعدد الحالات الممكنة، في تجربة نتائجها بالمحصلة غير مؤكدة، وتخضع لما يعرف بالمصادفة. وهكذا، إذا قُذفت قطعة نقود في الهواء، فما هي احتمالية أن تقع على وجهها؟ هنا عدد الحالات المنفذة هو واحد، وعدد الحالات الممكنة مبدئياً هو اثنان (هو وجه أو ظهر). احتمالية الحصول على وجه أو ظهر هي $\frac{1}{2}=0.5$ ، بشرط ألا تكون قطعة النقـــود هذه مزورة وأن الحدث

هو متساوي الاحتمال. ما هي احتمالية أن أحصل على الوجه ستة عندما أقذف زهر النرد؟ هنا عدد الحالات المنفذة هي الواحد، عدد الحالات الممكنة هي ست حالات. فالاحتمالية هي $\frac{1}{6}$ = 0.166. المحاولة الأولى باستخدام قطعة من النقود أقلُّ لاحتميةً من الثانية باستخدام مكعب الزهر.

كلمة لا حتمي هامة في الاحتمالية، وهي المرادف لكلمة غير مؤكد. بالطبع، فإنه في المحاولة نفسها تكون محصلة كل الاحتمالات (لكل الحالات القابلة للتنفيذ) مساوية الواحد. فالاحتمالية هي إذاً عدد يتغير بين الصفر (وهو اللاممكن)، والواحد (وهو المؤكد).

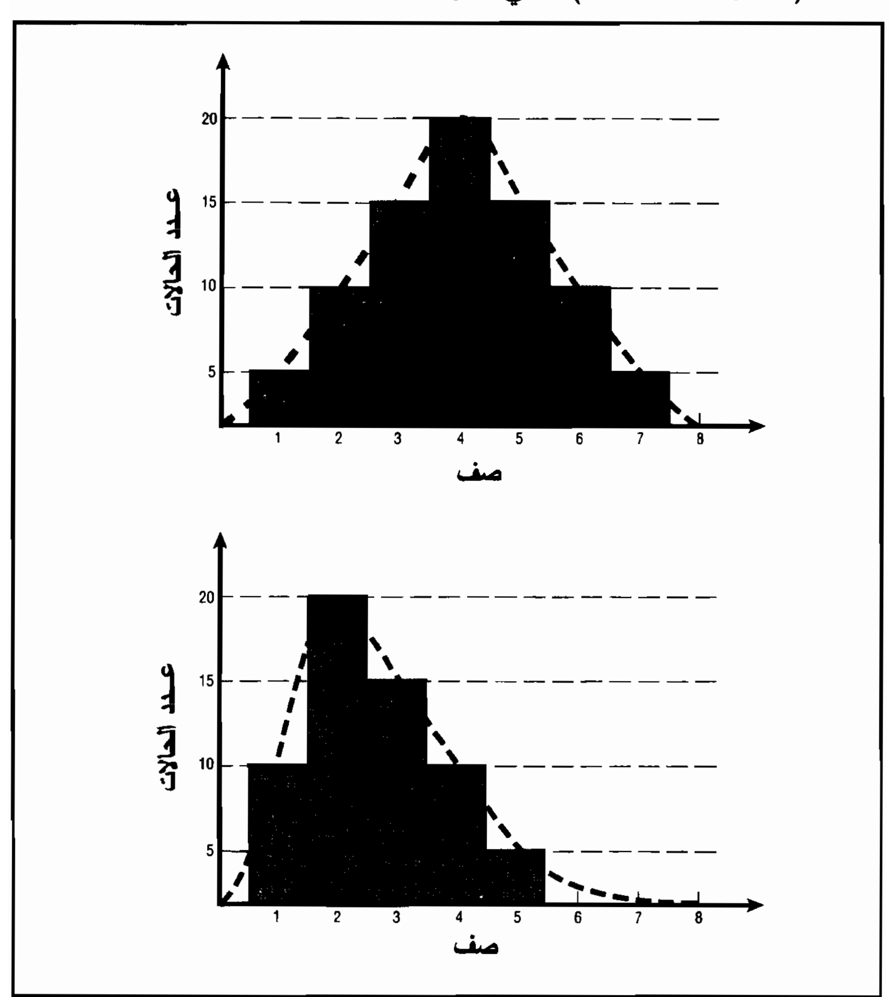
قام كل من باسكال، دانيال برنوييه وآخرين، بوضع القواعد التي تحكم حساب الاحتمالات. من هنا جاءت فكرة الإحصاء. فإذا ما تصدينا لكمٍّ كبير من الأحداث يؤثر فيها عدد كبير من الفاعلين (وهو ما نسميه جماعة)، وإذا كنا لا نعرف جيداً الطريقة التي تتم حسبها الأحداث، وما هي درجة تغيرها، أفلا يمكن وصف المجموعة، الجماعة، باستدعاء حساب الاحتمالات؟ ونظراً لصعوبة معرفة الحقيقة بدقة فإن ما يمكن توقعه بموثوقية، عن تصرف جماعة باستخدام قوانين الاحتمالات يفرض نفسه. باسكال أو ليبنز، المهتمان والمشغولان حينها بتوفير أفضل الشروط الملائمة للاستثمارات المالية أقرا بذلك. وهكذا شيئاً فشيئاً ولدت فكرة أنه، في مجموعة مكونة من عدد كبير من "**الأفراد**" فإن تصرف المجموع يمكن دراسته **بأخذ عينة**، لا على التعيين، كجزء من المجموع، ودراسة هذه العينة، ثم إسقاط النتائج التي تم الحصول عليها على مجموع السكان. من هنا أخذت تبرز شيئاً فشيئاً فكرة الإحصاء.

يسعى الإحصاء إلى تحديد الخصائص الوسطى لجماعة من الأشياء خاضعة لظواهر معقدة. ولتحقيق ذلك فإنه يهتم بثلاثة معايير:

آ ــ **القيمة الوسطى Valeur moyenne**: أي العنصر الوسطي وخصائصه.

ب ـ **التبعثر Dispersion**: حول هذه القيمة الوسطى، أي نسبة المنحرفين عن الأصليين، ومقدار ابتعاد كل نوع عن القيمة الوسطى.

ج ـ **عدم التناظر Dissymétrie**: حول المتوسط. هل المنحرفون هم بالعدد نفسه، والبعد نفسه من جميع الجهات، عن المتوسط؟ لتحديد كل ذلك، يستخدم تمثيل خطي شامل يعرف بالهيستوغرام histogramme (انظر شكل 1.7). في الرياضيات، حيث تؤخذ بالاعتبار



شكل 1.7

منحنيا توزع (هيستو غرامان)، يوضح كل منهما عدد الأفراد بدلالة المتغير المختار.

هيستوغرامات ذات صفوف صغيرة، يتم الحديث عن **التوزع Distrubution**. هذا الهيستوغرام سهل الإنشاء. ومن أجل ذلك نحدد مختلف المقادير التي نريد قياسها، ومن أجل كل واحدة منها نقدر عدد العناصر التي لها القيمة نفسها. يسمح الهيستوغرام، كما أشرنا أعلاه، بإيضاح الوسطي، التبعثر وعدم التناظر. بالطبع، فإنه للحصول على تقدير للواقع بواسطة هذه الهيستوغرامات فإننا نعتمد فرضية أنه عندما ندرس عينة من الجماعة الإجمالية مأخوذة لا على التعيين ـــ عشوائية (والعشوائية هنا أساسية بالتأكيد، حتى ولو أننا نكررها دون توقف)، فإن هذه العينة ممثلة، أي تعكس بإخلاص خصائص الجماعة الإجمالية. من أجل ذلك لابد من دراسة درجة الموثوقية التي نحصل عليها من النتائج، أي تقدير هامش الخطأ الذي نرتكبه بأخذ عينات بهذه الطريقة أو تلك.

هذه هي الطريقة المستخدمة اليوم في سبر الآراء. إذ أنه انطلاقاً من هذه العينات التي تقدم احتمالات عن هذا الرأي أو ذاك فإنه يؤمل حصر تصرف الجميع، أي أخذ فكرة عن خصائص مجمل التجمع الذي يراد تقدير هذه الخاصية أو تلك عنده. بالطبع كلما كانت العينة كبيرة، كان هناك حظٌ أكبر لأن تكون موثوقة [عدم التأكد يزداد بحسب العلاقة (I/N)، ولكن الجزم ليس معياراً كافياً، لأنه هو أيضاً ثمرة المصادفة*] وإذا كان التجمع مقسماً إلى أصناف فإن ذلك يجب أخذه بعين الاعتبار أثناء أخذ العينات.

---

* يلاحظ أن معظم السبور تستند إلى عينة من 1000 شخص. الرياضي يخبرنا إذاً، أن عدم التأكد (الخطأ) الجاسم على النتيجة هو تقريباً $1/\sqrt{1000}$ ~ 3%. يلاحظ أنه في كل دورة ثانية من انتخابات الرئاسة الفرنسية، إذا قيل أن A (51%) يسبق B (49%)، فذلك هو ضمن 3% تقريباً، مما يعني بالواقع أننا غير متأكدين من شيء.

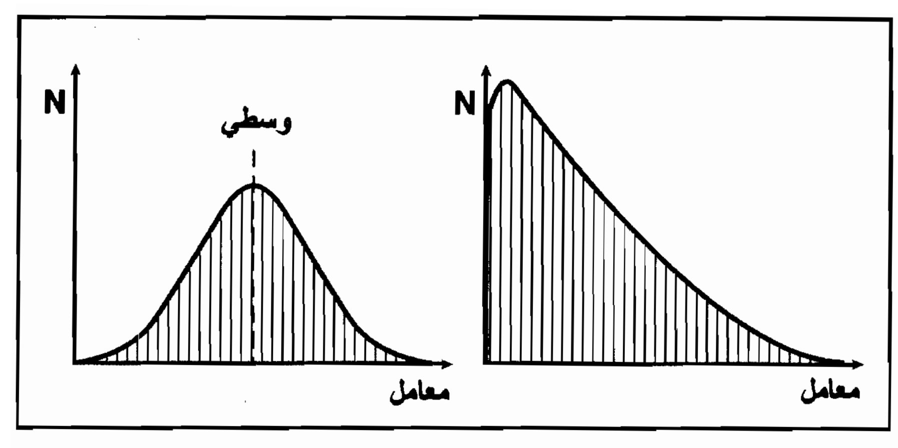
هكذا ولدت فكرة الفيزياء الإحصائية. وأي مثال أفضل عن الطرق الإحصائية من ذاك الذي يخص الجماعات الذرية أو الجزيئية، حيث لا نتعامل هنا فقط مع مئة، ألف، أو عشرة آلاف فرد، وإنما مع مليارات المليارات! في حساب الفيزياء العادية فإن النتيجة يُعبَّر عنها برقم، أما في حسابات الفيزياء الإحصائية فإن النتيجة يعبر عنها بتوزع الخصائص، هيستوغرام أو عدة هيستوغرامات. يجب إذاً تعلم إجراء العمليات الأساسية (الجمع، الضرب، وعمليات التركيب الأكثر تعقيداً)، باستخدام الهيستوغرامات. ما هي نتيجة جمع هيستوغرامي؟ الناتج هو أكثر تعقيداً منه في حالة أرقام، ولكنه يصف الواقع بشكل أفضل، لأنه يسمح، لا فقط بمعرفة المتوسط، ولكن بمعرفة الخطأ الذي يتعرض له تقدير هذا المتوسط، وكذلك نسبة المنحرفين عنه. يسمح الإحصاء بأخذ فكرة عن تنوع الطبيعة. وسوف نعرض أمثلة بسيطة عنها لاحقاً.

منحني الاحتمالات – المنحني الجرسي

في كثير من المجموعات الإحصائية، يخضع توزع خصائص المجموعات لقانون يعرف، بشكل شائع بمنحني الاحتمالات*، وبلغة العارفين توزع لابلاس ــ غوس (باسم المؤلِّفين، أحدهما فرنسي، والثاني ألماني، اللذين وضعاه ودرساه). أخذ هذا المنحني شكل قبعة الشرطي في القرن التاسع عشر. وهو متناظر بالنسبة للوسط ومسطح بعض الشيء حسبما يكون التشتت كبيراً أو قليلاً (انظر شكل 2.7). ما يعطي لهذا المنحني خاصيته الشمولية هو فرضية إحصائية، ذات استطاعة كبيرة ولكنها، بدون شك، أقل معرفة أيضاً، تسمى **فرضية الحد المركزي Théorième central limite**.

---

* ويعرف بالمنحني الجرسي La courbe en cloche، لأنه يأخذ شكل الجرس ولاسيما عندما يكون متناظراً. **المترجم**



شكل 2.7

هيستوغرامان نظريان هامان جداً. إلى اليسار، توزع لابلاس – غوس. إلى اليمين توزع بواسون – بولتزمان.

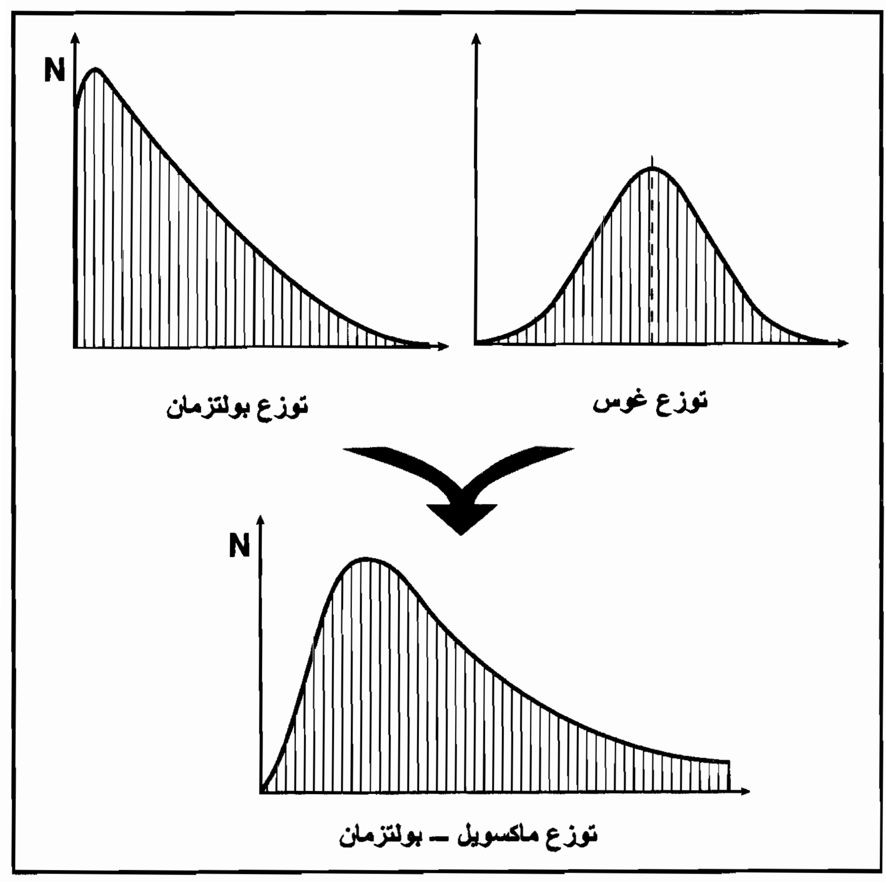
التي بحسبها، إذا أضفنا توزعات ما بأشكال ما، وإذا كان هناك توزعات كافية، فإن التوزع الذي يتم الحصول عليه هو منحني احتمالات.

إنه لعملٌ خارق ولكنه حقيقي! عندما يقاس طولٌ ما، مثلاً طاولتك، فبتكرار العملية عدة مرات، يتم الحصول على منحني احتمالات: القيمة الوسطى تشير إلى التقدير الأفضل، والانزياحات عن هذه القيمة الوسطى تسمح بتقدير الخطأ الذي ارتُكب في عملية التقدير.

الفقراء أكثر من الأغنياء

لنأخذ مجموعة إحصائية ثابتة معروفة جيداً، بحيث أنها أفضت إلى قانون شامل، والذي يطبق، مع الأسف، على الناس وعلى توزع الغنى: الفقراء أكثر بكثير من الأغنياء. وعموماً، مهما كان المجتمع، فإن المنحني يأخذ الشكل نفسه حتى ولو كانت، بالتأكيد، المعايير مختلفة. والأمر نفسه، يوجد هزات أرضية خفيفة، أكثر بكثير من الهزات الشديدة (لحسن الحظ)، يوجد ناس يقطعون مئة المتر في خمس عشرة ثانية، أكثر من أولئك الذين يقطعونها في عشر ثوانٍ... إلخ، يوجد في غاز ما جزيئات مزودة بطاقة

ضعيفة أكثر بكثير من الجزيئات التي طاقتها كبيرة. هذا هو توزع بواسون. بالنسبة للجزيئات ينسب التوزع إلى بولتزمان، أحد مؤسسي الفيزياء الإحصائية. يمكن الجمع بين توزع بولتزمان وتوزع لابلاس ــ غوس، إذ بضربهما، حداً بحد، نحصل على توزع آخر غير متناظر، يعرف بتوزع ماكسويل ــ بولتزمان، الذي يصف، مثلاً، قانون توزع سرعات الجزيئات في غاز (انظر شكل 3.7). هكذا نكون انتهينا من عرض العمليتين الأساسيتين للفيزياء الإحصائية: جمع وضرب التوزعات.



شكل 3.7

توضيح الجمع بين توزع غوس وتوزع بواسون - بولتزمان، والحصول على منحني احتمالات يعرف بتوزع ماكسويل - بولتزمان.

حساب الاحتمالات في نجدة الكيمياء الذرية والفيزياء

كان ديموقراط قد أكد أن الذرات في حركة مستمرة، ومثارة بصورة غير منتظمة في كل الاتجاهات. وكان يقول أحياناً أنها تدخل في تصادمات وتدق بعضها كما يحصل لسيارتين تتصادمان، وأحياناً قد يتلخص اللقاء باتحاد وتولد "مواد" سائلة أو صلبة. وكما أشرنا أعلاه، فإنه في حوالي نهاية القرن التاسع عشر قد تم اكتشاف القوانين الأساسية حول تصرف الغازات، الطريقة التي تتجمع من خلالها، اختلاطها مع بعضها، وما هو الضغط الذي تمارسه على الجدران والحواجز... إلخ. من الطبيعي إذاً، أنه قد تمت في هذه الفترة محاولة توضيح كل هذه الخصائص انطلاقاً من الأفكار عن الذرات والجزيئات التي كانت تبرز في ذلك الوقت، والتي بالمحصلة كانت تعمق أفكار ديموقراط، ولكن بطريقة أدق نوعاً وأكثر بقليل كمًّا.

إذا كانت المادة، ولتكن غازاً، مكونة من مليارات الجزيئات أو الذرات، فكيف يمكن لنا انطلاقاً من خصائصها المفترضة، تفسير ملاحظات الكيميائيين؟ أي، كيف يمكن انطلاقاً من الوصف الميكروسكوبي للمادة، للبنيات الأساسية للجزيئات، وضع نظرية تسمح بتوضيح الخصائص الماكروسكوبية، التي يعمل عليها الكيميائيون منذ غي لوساك وحتى أفوغادرو، مروراً بدالتون، حتى كيميائيي اليوم؟ كيف يمكن المرور، من صيغ كيميائية إلى حوجلة الكيميائي، الذي يركب مواد جديدة؟ كان لابد من الرجوع إلى المنبع. دانيال برنوييه* من مدينة جنيف (سويسرا)، عضو سلالة علمية راقية، كان قد فتح الباب في نهاية القرن الثامن عشر.

فهم دانيال برنوييه، الاختصاصي في هذا الفرع الجديد من الرياضيات المسمى حساب الاحتمالات، من أجل دراسة جماعة من الذرات،

---

* من هذه العائلة يجب الانتباه إلى الأسماء الأولى لأن العبقرية يبدو أنها كانت وراثية.

كثيرة العدد، فإن أفضل طريقة للقيام بذلك سريعاً هي نمذجة تصرفاتها، بطريقة إحصائية وبالتالي تحديد، تصرف ذرة وسطى. ولكن إذا كانت الأفكار الأولى تعود إليه فإن عمله لم يؤدِ إلى نتائج نهائية. وسننتظر حتى حوالي نهاية القرن التاسع عشر حيث ستتطور، فعلاً، الفيزياء الإحصائية عبر نقاشات هامة وشديدة العنف فكرياً، لأن هذه الفيزياء الإحصائية كانت تصطدم مباشرة مع حُكمين مسبقين استقرا في الأذهان. بفضل الأول، كما رأينا، البعض عارض فكرة الذرات والجزيئات حتى بمسوغ أننا لا نراها. وبفضل الثاني، رفض استعمال حساب الاحتمالات. كيف يمكن للطبيعة، التي قوانينها واضحة تماماً، محددة تماماً، أن تخضع لحساب الاحتمالات، الخاضع للمصادفة، "هذا البؤس المخبأ عن حالتنا" كما سيعبر عن ذلك، لاحقاً، بسخرية، إميل بوريل، احتمالي فرنسي كبير؟ .

هناك ثلاثة رجال، أيضاً، استثنائيون وغير متشابهين، سوف يؤسسون هذه الفيزياء الإحصائية: جيمس كلارك ماكسويل، مؤلف النظرية العظيمة عن الاتحاد الكهرامغنطيسي. السيد اللطيف الإيقوسي من كامبردج، أحد أساطير الفيزياء. هو الذي سوف يعطي إشارة البدء، بحساب توزع سرعة جزيئات الغاز. إنه رياضي مميز، ذري وجداني، مع الأسف فقد توفي في منتصف المعركة في عام 1918. الثاني هو لودويك بولتزمان، نمساوي، أقل عمراً من ماكسويل، الذي يجله ويعجب به. إنه إنسان تخيلي، رياضي لامع، طموح، يملك الخيال والتقنيات معاً، ولكنه أيضاً عالي الحساسية، متردد غالباً (فهو يوافق ثم يرفض ثلاث مرات، وظيفة أستاذ في برلين، حيث يدرس الفيزيائي الألماني الكبير هيلمولتز، وكل ذلك خلال سنتين)، مباشر ــ مباشر كثيراً جداً يقول البعض ــ في علاقاته الاجتماعية. ومع ذلك فهو الذي بنى المؤسسات. الثالث هو جوزيا ويلارد جيبس، وهو أمريكي (يقول

العلميون الأمريكيون اليوم أنه أول "علمي أمريكي كبير"... وماذا عن بنجامين فرانكلين؟). أستاذ في جامعة يال، متحفظ، منعزل ـ يحكى أنه أحد الأيام، وهو يتحدث إلى زميل، اكتشف أن أساتذة جامعة يال قد كوفئوا وكان يجهل ذلك! ـ، هو الذي أسس الفيزياء الإحصائية وصاغ توليفة الترموديناميك. إنها لخسارة أن جيبس وبولتزمان لم يلتقيا أبداً إلا مرتين لم تثمرا، لأن جيبس كان، على ما يبدو، من النادرين المعاصرين الذين فهموا مقالات بولتزمان. هذا يفترض امتلاكه خبرة رياضية كبيرة، وأيضاً رؤية شفافة متميزة لأن مقالات بولتزمان كانت كثيفة، معقدة وصعبة الفهم.

النظرية الحركية للغازات

عندما تتواجد عدة ملايين من الجزيئات الصغيرة (ذرات أو جزيئات؟) محصورة في صندوق تضطرب في كل الاتجاهات (بشكل مشابه تقريباً لمشهد قاعة محطة في أوقات الشدة)، فإنها تصطدم ببعضها بعضاً وتغير اتجاهاتها، ثم تصطدم من جديد، تقفز، والكل يعطي انطباعاً باضطرابات غير منتظمة. لفهم تصرف مجموعة كهذه، فلابد من الإقلاع عن فكرة الوصف الإفرادي لكل جزيئة، لصالح وصف إحصائي لتصرف جزيئة وسطى وانحرافاتها.

من أجل هذا، إذاً، سوف نهتم بتصرف جزيئة وسطى. مثلاً لو كان لدينا عدد من الجزيئات في حجم محدد، فما هو المسار المتوسط بخط مستقيم، لجزيئة مضطربة عشوائياً، قبل أن تصادف جزيئة أخرى؟ يسمى هذا المسار، بتعبير العارفين،"المسار الحر الوسطي". يمكن لنا أيضاً أن نطرح السؤال التالي: كم عدد الاصطدامات، في الثانية، لكل جزيئة؟ وسنهتم أيضاً بدرجة التمثيلية Représentation للجزيئة الوسطى، أي، بعدد

الجزيئات المنحرفة بالنسبة لهذا التصرف الوسطي. وسؤال آخر: كم من الجزيئات تتنقل دون أن تصطدم بأخرى؟ (ليس كثيراً!)، ولتقدير كل هذا نستدعي حساب الاحتمالات، أي، نحصر نسبة الحالة التي يقع فيها الحدث، بالنسبة للعدد الكلي للحالات التي يستطيع الحدوث فيها... إلخ.

سطوع علم الإحصاء الذري

قام بولتزمان، بالاعتماد على هذا النوع من المقاربة، بالتنبؤ وحصر خصائص الغازات، التي نلحظها ونقيسها، انطلاقاً من وصف مجموعة جزيئات (سنقصد بذلك أحياناً الذرات وأحياناً الجزيئات، هذا لا يهم)، وهذا بحد ذاته ليس قليلاً. بل أكثر من ذلك، فإنه سيحدد اتجاه المفاهيم التي كان يعرفها الكيميائيون والفيزيائيون منذ نهاية القرن التاسع عشر، دون أن يعرفوا تماماً ما تشمله: الضغط، درجة الحرارة، الحرارة. مفاهيم شائعة الاستخدام ولكنها لم تكن محددة بشكل جيد.

○ ضغط الغاز

ما نسميه ضغط غاز، هو حصيلة مجمل الصدمات التي تمارسها الجزيئات على جدران إناء (الجدران يمكن أن تكون نظرية). فالضغط في الميكانيك، هو القوة على واحدة السطح، واعتماداً على هذا المبدأ، تم اختراع مضغاط المسامير* Pumaise، حيث يسند على الجزء المسطح، لكن القوة لا تمارس إلا على سطح صغير، وعليه يكون الضغط هائلاً. في حالة مجموعة من الجزيئات، فإن الضغط هو مجمل القوى المطبقة من قِبل الجزيئات على حاجز مقسومة على سطح الحاجز. كل شخص، وقع يوماً

---

* المعروف باللغة الدارجة بفرد الضغط لكبس المسامير في الجدران أو الألمنيوم... إلخ.
المترجم

وسط ازدحام كبير يحاول أن "يدفع" للخروج في اتجاهٍ ما يمكنه من ذلك بسهولة. في هذه المقاربة المقارنية كل منا هو ذرة، وتجمع الناس هو الغاز، مع فارق هو أننا لسنا أكثر من عدة آلاف مجتمعين، في حين أنّ الغاز فيه مليارات مليارات الجزيئات.

○ **درجة الحرارة**

منذ اختراع الإنسان الحديد، ودون شك من قبلُ، عرف الإنسان التمييز بين الساخن والبارد، فمنذ القرن السابع عشر عرف الإنسان صناعة مقاييس الحرارة، لقياس درجة الحرارة. ولكن لم يكن يعرف ما هي درجة الحرارة حقيقةً؟ وهكذا حصل، فجأة، وبدون مقدمات، خلط في مفهومي درجة الحرارة والحرارة. عند الكثيرين من الشباب، والأصغر سناً من الشباب، لا يزال اليوم بعض التشويش موجوداً ولكن ليطمئنوا فليسوا أغبياء، كما يتصورون، لأن هذا التشويش دام مئتي سنة. وخلال المناقشات، فإن العقول الكبيرة في القرن الثامن عشر والتاسع عشر قد خُدِعَتْ. باختصار، إذا لم يفهم التمييز بين حرارة ودرجة حرارة فهذا يعود لأن مثل هذا التمييز ليس سهلاً.

يقول لنا بولتزمان بوضوح: «درجة الحرارة هي قياس هيجان الذرات». ففي درجة حرارة عالية تكون الذرات هائجة جداً، وفي درجة حرارة منخفضة تكون الذرات هادئة. أنت أكثر هيجاناً (الحديث طبعاً عن المقياس الميكروسكوبي وليس فقط الماكروسكوبي!)، عندما تكون ساخناً، أي حرارتك مرتفعة، أكثر منك في حالتك العادية. كلما كانت الذرات أكثر هيجاناً، مارست ضغطاً كبيراً. كلما كان الحجم صغيراً، كان الضغط الممارس على الجدران كبيراً. إذا حصر أحدنا في غرفة من عشرة أمتار مربعة، فإنه سيصطدم غالباً مع الجدران، أكثر من لو أنه محصور في

صالات فرساي الزجاجية. الذرات تكون هائجة قليلاً أو كثيراً، الحجم يكون كبيراً أو صغيراً، عدد الذرات سيكون مرتفعاً قليلاً أو كثيراً، لكن ينقص معامل ثالث هو الجزيئات، وكلما زاد عددها كان الضغط شديداً.

كما نرى، فإن الظواهر تفسر بسهولة أكثر بالاعتماد على الإحصاء: الضغط، درجة الحرارة، والترابط الموجود بينهما، والذي يعبر عنه قانون «**الغازات الكاملة الشهير لماريوط**» ($PV= n RT$) الذي صادفناه من قبل. حاصل الضرب للضغط P، بالحجم V، لا يتوقف، من أجل عدد n من جزيئات ما، إلا على درجة الحرارة T. الثابت R يقال عنه ثابت الغاز الكامل. لنعبّر عن ذلك بطريقة أقل شيوعاً ولكنها مفيدة. الضغط هو الحرارة، مقسومة على الحجم، هذا نوع من الهيجان في واحدة الحجم. إذا كانت كل الأشياء متساوية، فإن زيادة عدد الجزيئات، تؤدي إلى زيادة الضغط. وأخيراً، إذا رفعنا درجة الحرارة (أي الهيجان) فإننا نزيد الضغط (وهذا ما يتم فعله في قدر بخاري). ويمكن مقارنة ذلك مع حالة الحشد المزدحم من الناس.

الحرارة هي كيفية انتشار هيجان، إذاً هو عمل، ولكن على مقياس الجزيئات، الذرات. كلما عملت الذرات كلما زاد التسخين. تسمح الرؤية الإحصائية لبولتزمان، بشرح التحول بين الحرارة والعمل، الذي تحدثنا عنه بمناسبة الحديث عن الطاقة. فكرة انقلاب الحرارة إلى عمل هي بكل بساطة **التحول من العمل الميكروسكوبي إلى العمل الماكروسكوبي**. عندما يحول العمل الميكروسكوبي إلى عمل ماكروسكوبي، فهناك خسارة. عندما تكون جزيئات غاز محصورة في ضاغط يسخن، فإنها تدفع الضاغط متهيجة بشكل مسعور، فتولد أيضاً هيجاناً ذرياً في جدران الضاغط، وتصطدم الذرات ببعضها بعضاً، أي، تحصل هناك خسارة طاقوية. كل

هذا يسمح لنا بالقول أنه خلال هذا التحول حرارة ـــ عمل توجد خسارات. لا شيء إذاً كامل. *لا* يوجد *إنسان كامل*. بما في ذلك التحول من حرارة إلى عمل.

الصفر المطلق

يبدو أن الصفر المطلق هو حشو لغوي، مادام مفهوم الصفر متشاركاً مع المطلق، مع البقاء ومع العدم. وقد احتاج الأمر على ما يبدو إلى قرون حتى استطاع الهنود* اختراع مفهوم الصفر في الرياضيات. واحتاج الأمر إلى قرون حتى استطاع الفيزيائيون تحديد مفهوم الصفر المطلق الحراري، المرجع النهائي، وأصل مقياس درجات الحرارة. عندما تقاس درجة حرارة ما، يستخدم مقياس حراري، أي خاصية تمدد السوائل مع درجة الحرارة. الزئبق السائل يزداد حجمه مع درجة الحرارة، وعليه ففي أنبوب ضيق، يسمح لك بتقدير درجة حرارتك الوسطى. منذ وقت طويل يفتش للحصول على مقياس درجة الحرارة، مفترضين أن التمدد يزداد نسبياً مع درجة الحرارة.

المقياس العادي (المسمى سولسيوز)، تم تحديده باعتماد الصفر المطلق في حالة الثلج، ودرجة مئة في حالة الماء المغلي. ثم يقسم المقياس بين هاتين الدرجتين إلى مئة قسم. الإنكليز الذين لا يقبلون شيئاً كالآخرين، (بمعنى أنهم مخالفون لهم، حددوا مقياس فهرنهايت Fahrenheit والأمريكيون هم الوحيدون الذين يستخدمون هذا المقياس اليوم ـــ مما يعفيك من مشاهدة التوقعات الجوية على محطة CNN ـــ أمّا أنا فلا أرشد أحد

* المعروف أن العرب، وبالتحديد الخوارزمي، هم الذين أوجدوا الصفر وبالتالي فالفضل في هذا الاكتشاف يعود إليهم. **المترجم**

ولكن أنتظر أن يفعل الأمريكيون مثل كل العالم). لقد فتش الفيزيائيون منذ وقت طويل لتحديد مقياس مطلق لدرجة حرارة. كان اللورد كالفن هو الأول الذي تصدى للمشكلة.

إذا درسنا العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة من أجل حجم غاز محدد، وعدد محدد من الجزيئات، فإننا سنحصل، حسب قانون ماريوط، على مستقيم. وهذا يثير طرح السؤال التالي: ما هي درجة الحرارة عندما يكون الضغط معدوماً؟ لنُعِد التجربة مع غازات مختلفة، نجد دوماً درجة الحرارة نفسها وهي 273 ــ درجة عادية (سولسيوز). في هذه الدرجة، يكون الضغط معدوماً، لأن الذرات تكون خاملة، تقريباً بلا حركية. إنها لا تتهيج كثيراً، إنها في هدوء مطلق تقريباً (فقط إلكتروناتها مستمرة بالحركة). إن الصفر المطلق هو ذاته بالنسبة لكل الأجسام ولكل المواد. انطلاقاً من هذا الصفر يمكن تحديد مقياس مطلق لدرجة الحرارة. ما هو خارق وعظيم هو أن درجة الحرارة المطلقة هذه، المتوقعة والمحددة من قِبل الفيزيائيين، منذ بداية القرن العشرين، قد اقترب منها، بمعدل جزء من ألف من الدرجة تقريباً في بداية القرن، على يد الهولندي كاميرلينغ أونيس، ويمكن الآن الحصول على جزء من المليون تقريباً وبالتالي دراسة حالة الأجسام الهادئة، وهذا ما يحدد مفهوم الفيزياء الحديثة بفضل اللازر. وهو ما كان من شأنه منح جائزة نوبل للعالِم كلود كوهن ــ تانوجي، ولكن هذا كله هو قصة أخرى.

الأنتروبية الخفية

كما تم ذكره من قبل، فإن الجمل الميكانيكية تتطور بطريقة تقودها إلى حالتها الطاقوية الدنيا. عندما نقفز من أعلى برج، فإننا نقع إلى الأسفل

(طاقة دنيا)، كرة غاليلي ليست في السكون الثابت إلا في أسفل اللوح المائل... إلخ. من الطبيعي إذاً تعميم هذا المبدأ على "حشود الجزيئات" واستنتاج أن كل جماعة جزيئات، سوف تتطور"طبيعياً" نحو الحالة الدنيا للطاقة. إذاً كل جزيئة تفتش عن تخفيض طاقتها، ومجمل مليارات الجزيئات يعمل كذلك لتحقيق الشيء نفسه. وعليه يبين بولتزمان أن مبدأ الطاقة الدنيا ليس كافياً لفهم تطور غاز، ولابد من أن نرفق معه مُعاملاً آخر، له قيمةٌ أخرى نسميها الأنتروبية. هناك علماء مثل الألماني كلوزيوس (1822 ــ 1888)، كانوا قد أخذوها بعين الاعتبار في حساباتهم لفهم الغازات قبل بولتزمان (وكيف تسير القاطرة البخارية)، ولكن لم يكونوا يفهمون جيداً طبيعتها العميقة.

يبين بولتزمان أنه على المقياس الميكروسكوبي، أي على مقياس الجزيئات والذرات، فإن **الأنتروبية** تقيس عدم انتظامية (فوضى، شوش) الجزيئات أو الذرات. الأنتروبية هي الشوش، زيادة الأنتروبية تعني زيادة الفوضى، وهو القائل: إن فوضى الكون هي بازدياد. كل جملة معزولة تميل عفوياً إلى اللاانتظام. الأنتروبية تزداد (هذا مبدأ ينطبق على ما يبدو على الكثير من الأشياء: على العالَم السياسي كما على أشكال أخرى من التنظيمات. النظام هو "ضد الطبيعي" مما يتطلب «أمراً آخر!»). وهكذا أعلن بولتزمان: تحب الطبيعة الفوضى عفوياً. النظام والترتيب هو "ضد الطبيعة Antinaturel".

وهكذا سيهب العالَم العلمي كله ضد بولتزمان. ماخ، مخترع الماك (Mac) 1 و2، نمساوي مثل بولتزمان سيكون الأكثر جدية، ولكن الكيميائي أوستوولد، مع أنه صديق لبولتزمان، وزاره في كراز Graz (حيث كان بولتزمان يعمل رئيس جامعة)، وأيضاً ماكسويل، نعم، ماكسويل، المثال المحور، الذي لا يعتقد بهذه الأنتروبية التي لا تتوقف عن النمو، ثم ماكس

بلانك، مؤسس نظرية الكوانتية "بالرغم منه"، الذي استخدم، في سبيل ذلك، حسابات بولتزمان، هو أيضاً معارض شديد لرؤيا بولتزمان. مع أنَّه، ماكس بلانك، لامع وقوي فإنه، لا يتصرف دوماً بشكل جيد اتجاه الصعوبات، وهذا التخيلي، والمخلص، لبولتزمان على حق في كل هذا، وكان يقول: أنّ هذا لن يجعله جماهيرياً ومحبوباً، وهو صحيح. والتجربة وحدها سوف تبين الحقيقة.

بفضل مفهوم الأنتروبية هذا. فإننا نفهم لماذا عندما نضع الخمر مع الماء فإنهما يختلطان. الخليط يكون فوضوياً بقدر ما يكون السائلان منفصلين. نبدأ هنا بجملة منتظمة، الخمر من جهة، والماء من جهة أخرى، فنحصل على خليط فوضوي، خليط بلون الزهر. وهذا يعيدنا إلى ديموقراط وإلى تجربته الأساسية. ولكن في أوروبا فإن بولتزمان لا يقنع أحداً أو تقريباً لا أحد. كل جملة تميل نحو حالة طاقوية دنيا، كما يؤكد، ولكن ليس أكثر. ثم يجيء جيبس الذي يعطي الحل للمشكلة، فقد برهن على أن تطور جملة يخضع لتحريضين متعارضين غالباً. أحدهما هو ميلها إلى الطاقة الدنيا، والآخر ميلها نحو حالة الفوضى.

في الطبيعة، الوضع معقد، أحياناً الطاقة الدنيا والفوضى تسيران معاً، وأحياناً تتعاكسان، وعندها الأقوى هي المنتصرة. ما يقوله جيبس هو أن الترموديناميك ليس ببساطة حاصل جمع تصرفات الجزيئات، بل لابد من أخذ نظاميتها بعين الاعتبار، وهذا ما يترجم مفهوم الفوضى. مع الأسف فإن أعمال جيبس لم تدخل إلى أوروبا إلا ببطء، في وقت كان فيه بولتزمان وحيداً، مهاجماً من كل الجهات، إنّه عبقري غير مُقدَّر حق قدره. بولتزمان هذا سينتحر في 7 أيلول من عام 1906، وقد أوصى أن يُكتَب على قبره

كنوع من التحدي لأعدائه: «الإنسان الذي اخترع الأنتروبية!»، (تلك الجملة لم تُكتَب إلا مؤخراً جداً، وكُتبت عرفاناً لعمل بعد وفاة مؤلِّفه).

الكيمياء الإحصائية

بالطبع، فإن إحدى التطبيقات المباشرة للفيزياء الإحصائية هي الكيمياء، التي تطمح من الآن فصاعداً إلى شرح كل الخصائص الملحوظة، وكل المركبات الكيميائية اعتماداً على خصائص الجزيئات، وخصائص الذرات المكونة لها، وشكلها.

أولى الخصائص التي تمت محاولة نقلها من المقياس الميكروسكوبي إلى مقياس الرؤية بالعين المجردة هي التناظر. كيف يمكن شرح التناظرات المدركة بالعين المجردة بالاعتماد على تناظرات في ترتيب الذرات؟ عرفت هذه المحاولة نجاحاً فورياً ومدوياً على مستوى البلورات، وما كان قد أحس به القس هاوي تأكدت صحته، كما أظهره استكشاف بنيات البلورات اعتماداً على أشعة إكس: جميع تناظرات البلورات بأوجهها الجميلة المستوية تفسر بالمقياس الذري. بالمقابل فإن المحاولات نفسها عن المادة الرخوة (غازاً كانت أو سائلاً) قادت في البداية إلى فشل، لأنه بين الجزيئة وعين الناظر تتواجد الفوضى، وغياب تنظيم السوائل والغازات.

التفسير الإحصائي الثاني، الذي استفادت منه الكيمياء، هو تفسير التفاعلات الكيميائية. هذه الأخيرة هي روح الكيمياء. كيف يمكن مشاركة ذرات للحصول على جزيئات؟ كيف يمكن مشاركة جزيئات بسيطة للحصول على جزيئات معقدة، التي هي أساس الكيمياء التركيبية؟ تقدم لنا الفيزياء الإحصائية تفسيراً. فالجزيئات المضطربة، تنتقل وتتلاقى فتصطدم ببعضها بعضاً. وخلال هذا التصادم فإنها تتكسر أحياناً، وتعود الأجزاء لتلتصق، ولكن تبعاً لتشكيلات جديدة، مولدة هكذا جزيئات جديدة. يمكن إذاً

حساب احتمالات التصادم، التكسرات، إعادة الانتظام، وانطلاقاً من كل هذا تقدير معامل أساسي للكيميائي: المردودية Rendement. ما هي نسبة الجزيئات التي تقبل التزاوج؟

عندما نفاعل كربوناً مع الأوكسجين، لإعطاء غاز الكربون، فما هو، مثلاً، مردود العملية؟ يمكن أن نفهم، أنه من أجل الصناعة الكيميائية، فإن حساب هذا المردود أساسي، لأنه هو الذي سيسمح للكيمياء، بحساب أرباحها. بصفة أكثر عمومية، فإنه يفهم، بفضل هذه المقاربة أن الكيمياء علم إحصائي بأدواته ووسائله، وتوزعاته... إلخ.

إشعاع الجسم العاتم وولادة الفيزياء الكوانتية

عندما تسخن صفيحة، فإنك تلاحظ أنها تكون أولاً سوداء، ثم تصبح حمراء مسودة ثم حمراء برتقالية. وأخيراً إذا تابعت زيادة التسخين فإنها ستصبح دون شك زرقاء. هذه التجربة، باعتبار هذا كله تجربة، تعكس بالواقع أن درجة الحرارة وإصدار الضوء مرتبطان. إنه الترابط الشهير بين النار والضوء، الذي لاحظه القدماء، والذي أثرناه في معرض حديثنا عن الضوء. إذا قمنا، في تجربة الصفيحة المسخنة، بقياس الإشعاع الصادر، وإذا حللنا، بُعد التشتت باستخدام موشور، تركيبه بقيم طول الموجة، أي، الطاقة التي تبعثها كل شريحة من أطوال الموجة ـــ فإننا نتحقق من أن اللون المرئي هو بالتأكيد اللون السائد، ولكنه محاط بأطوال موجية أخرى، لا يسمح الإصدار، الأضعف، بتمييزها (انظر فصل الضوء). وهكذا وبلغة أكثر علمية، يقال أنه من أجل كل درجة حرارة، فإن توزع الطاقة، بدلالة الموجة (نوع من الهيستوغرام، للطاقة)، يتغير من حيث ارتفاعه، وأيضاً شكله. كيف يمكن شرح هذه الظاهرة بدقة وبشكل كمي؟ هذا ما يسميه الفيزيائيون، بالترميز، إشعاع الجسم العاتم (لأنه أصلاً هو بارد كلياً!).

هنا أيضاً كانت هذه المشكلة قد طرحت من خلال تجارب ضوئية وقوانين كان قد وضحها علميون ألمان مثل فيان أو فرانك. إذاً كانت المشكلة معروفة من خلال قوانين دقيقة، محددة جيداً، ولكن غير مفهومة كلياً. كانت المشكلة قد طرقتها الفيزياء الإحصائية بافتراض أن الصفيحة المسخنة كانت تحوي ذرات (أو جزيئات)، تهتز وتصدر ضوءاً. وهكذا قرر ماكس بلانك، الفيزيائي الألماني الشاب، التصدي لهذه المشكلة. كان ذلك بالنسبة له تحدياً صعب التحقيق. لم يكن يحب فكرة الذرات (كان ذلك في قمة التصارعات). كان يكره بولتزمان، وحذر من كل ما يتشابه مع الفيزياء الإحصائية والذرات. وهكذا باشر بإجراء حساب عادي قائم على مبادئ الحساب التفاضلي لنيوتن وليبنز ولكن دونما نتائج.

لكن ماكس بلانك كان رياضياً جيداً، وكان يعرف أيضاً المنحنيات التي كان يجب أن يحصل عليها والتي كانت قد أوضحت تجريبياً قَبلُ. باشر إذاً بمعالجة معادلاته، ومن أجل ذلك جاءته، بأسف، فكرة استخدام الطرق الرياضية التي طوّرها بولتزمان. وهنا حصلت معجزة، إذ يكتشف الصيغة التي تأخذ بالاعتبار كل الملاحظات*. ولكن معادلته كانت نتيجة لمعالجات رياضية بحتة، دون معنى فيزيائي. كيف سيبرر عزوفه عن الحساب العادي لصالح ما كان يفعله بولتزمان والذي رفضه الجميع؟ هنا جاءته فكرة مدهشة، والتي سوف تغدو خارقة. قبل بأن العناصر المهتزة (ذرات أو جزيئات)، لن تستطيع تحرير طاقتها بشكل مفروم، حسب حزم مميزة. وهكذا ستقسم الطاقة إلى وحدات طاقوية سميت كل منها كوانتا quanta، وهي تقاس بجمع 1، 2، 3... η كوانتاً. هذه الفرضية سمحت له بتفسير معادلته، بقيام توافق بين الحسابات النظرية، التفسيرات الفيزيائية والقياسات التجريبية.

---

* الواقع أن حسابه كان خطأ ولكن صيغته صحيحة كما سيضعها أنشتاين في عام 1905.

بدا بلانك مشوشاً، فهو لم يكن ليفهم. لم يقبل، في أعماقه، نتيجة عمله الخاص (قليلاً بعض الشيء، كنيوتن بالنسبة للقوة عن بعد). لم يكن قد قبل فكرة الذرات إلا رغماً عنه، أي مقاربة المشكلة بجزيئات مهتزة كانت قد صدمته من قبلُ. غير أن هذه الفكرة عن الطاقة المقسمة إلى قطع صغيرة ـــ كانت تبدو له غير متماسكة تماماً. وهكذا تردد في نشر نتائجه، مع أنها ستفتح الطريق إلى الثورة الكوانتية! بدا بلانك في مذكراته أيضاً مندهشاً ومتسائلاً حول هذه المرحلة. دون أن يدري أو أن يفسر حاله، فقد أعطى الانطباع للقارئ بأنه بطل بالرغم عنه، وحتى أيضاً ملام ومَعيب، وبالرغم ذلك يتحقق النجاح وسيصبح، في سجلات الشهرة، أبا النظرية الكوانتية (الأب الحقيقي كان بدون شك بولتزمان، إذا صدقنا الوثائق غير المنشورة، والتي عثر عليها في مذكراته ـــ العلم ليس أبداً مقراً للعدالة). ولكن الذي سوف يمنح المجد لبلانك ويشغل واحداً من أجمل المواقع في البانتيون pantheen* هو ألبرت أنشتاين.

أنشتاين والأثر الفوتوكهربائي

على الصعيد الإنساني، فإن أنشتاين هو الضد لنيوتن، ولكنه أيضاً استمراره العلمي. إنه العلمي الخارق، اللطيف، الجماهيري، إنه رجل أسطوري. ولكن هو أيضاً، بالتأكيد، النسبية، التي سنعود إليها. يغذي شعبيته بكثير من الفكاهة إلى النسبية هذه: «نسبي، كل شيء نسبي! هذا هو مَجدي!».

---

* كنيسة باريس (القديس جونيفييف، التي بناها سوفلوت soufflot ثم روندليت Rondlet والتي أصبحت منذ الثورة مكاناً لدفن الرجال العظماء (فولتير، روسو، هيغو، جوريس، جون مولان...). **المترجم**

الواقع أنه يعود لأنشتاين الفضل في تقدمين كبيرين في الفيزياء المعاصرة: النسبية والميكانيك الكوانتي، وبشكل أكثر تحديداً أيضاً، اللازر والايقاعات العصرية. هذا هو موضوع الإبداع الثاني الذي سنتحدث عنه هنا.

ما هو هائل وعظيم هو الظروف المحيطة. أنشتاين، الطالب في المدرسة الاتحادية، المتعددة التقنيات في زوريخ (والتي هي الآن المعهد العالي للتكنولوجيا ETA)، طالب متوسط كان يعمل في مكاتب التراخيص (البراءات) في برن. نشر في عام 1905 ثلاث مقالات في أرقى مجلات ألمانيا في الفيزياء. إحداها مخصصة للنسبية، الثانية للحركة البراونية (التي ستعطي زخماً جديداً لفيزياء بولتزمان الإحصائية)، والثالثة عن الأثر الفوتوكهربائي (وكان ذلك بداية الميكانيك الكوانتي). هذه المقالات كانت عميقة جداً، جديدة جداً بحيث أنه عند نشرها، كثيرون من الفيزيائيين الألمان ظنوا أن أنشتاين هو الاسم المستعار لعالم مشهور لا يجرؤ على كشف اسمه، مادامت الاقتراحات المتضمنة في هذه المقالات جريئة كي لا يقال ثورية. أرسل المجتمع الفيزيائي الألماني، كما قيل، رسولاً إلى مكتب التراخيص للتأكد من أن المتخفي أنشتاين موجود فعلاً. كان هناك في مكتبه، وحيداً، خجولاً ومتهكماً بعض الشيء!.

اشتهر أنشتاين بالنسبية، ومع ذلك فإن تفسيره للأثر الفوتوكهربائي هو الذي جعله ينال جائزة نوبل في عام 1921 (استلمها في عام 1922). ماذا يعني الأثر الفوتوكهربائي؟ ظاهرة خفية بشكل كافٍ بحيث أنه في نهاية القرن التاسع عشر، سمح الفيزيائي البريطاني الكبير، اللورد رايلي، لنفسه بأن يقول إن كل أسرار الفيزياء كانت مخترقة بحيث لا يبقى إلا الأثر الفوتوكهربائي الذي لا نفهمه جيداً ولكن إن فُهم، فقد انتهى الأمر! نهاية

التاريخ ديمومة خرافية، عزيزة على فرانسيس فوكوياما. لم يكن يلزم إلا هذا التفسير لتولد ثورة الفيزياء الكوانتية.

تعالوا إلى الأثر الفوتوكهربائي، فأثناء التجارب على الأنابيب المهبطية (المحرضة) (التي سنصفها في الفصل التالي)، لوحظ أنه عندما يكون المهبط مكوناً من الزنك ويضاء بأشعة فوق بنفسجية، فإن الزنك يشحن كهربائياً، ونستطيع الحصول على تيار في الدارة الكهربائية للأنبوب المفرغ. ولكن لم يكن هنا ما يدهش الفيزيائيين في ذلك الوقت. الضوء كان مكوناً من موجات، هذه الموجات كانت تنقل الطاقة، وهذه الطاقة كانت تحول إلى الزنك وتتحول إلى طاقة كهربائية، لاشيء أوضح من ذلك. ولكن الدراسة التفصيلية للظاهرة أظهرت تصرفات أكثر غرابة. وهكذا إذا ما أضأنا صفيحة الزنك بضوء مرئي، حتى ولو شديد جداً، فلا يرى أي أثر كهربائي، مع أن طاقة الأمواج الضوئية المحولة إلى صفيحة الزنك كانت هائلة جداً. بالمقابل، إذا بدلنا الزنك بمعدن آخر، الصوديوم مثلاً، فإن الضوء المرئي يكون بمقدوره تحريض الأثر الفوتوكهربائي.

الدراسات المنهجية، التي تبعت ذلك بينت أن الأثر لا يتوقف إلا على تواتر الإشعاع الضوئي من جهة، وطبيعة المعدن، من جهة أخرى. ولكن كل هذا بقي غير مفهوم. لم يتوفر في ذلك الحين أية نظرية شاملة مترابطة. عاد أنشتاين إلى أعمال بلانك، الكوانتا الطاقوية، واقترح تفسير الظاهرة كمايلي: الضوء هو في الوقت نفسه جزيئة وموجة. التناقض بين وجهات نظر نيوتن، الذي كان يعتقد بحبيبات الضوء، وهويغن الذي كان يدعم فكرة الموجة، لم يعد موجوداً. الضوء يتكون إذاً من جزيئات، الفوتونات التي تهتز. عندما تكون هذه الجزيئات كثيرة، فإن الاهتزازات تتراكب، والخاصة

الاهتزازية تصبح مرئية. هذه هي الحالة في ظاهرة التداخل، وفي حالات أخرى، فإن الظواهر الجزيئية هي السائدة.

إن طاقة فوتونات الضوء هي تابع لتواتر اهتزازها. ولكن هذه الطاقة (w)، كما اقترحها بلانك، تعبّر عن حالها فقط برزم محددة بالتواتر، $w = h\upsilon$ (وهي علاقة بلانك حيث υ هو التواتر، h ثابت يسمى ثابت بلانك). إذا كانت رزمة الطاقة هذه $\upsilon - h$، أعلى من الطاقة التي تربط إلكتروناً بذرته، فإن الإلكترون ينتزع، وبالتالي فإن أثراً كهربائياً سيظهر. أما إذا كانت هذه الطاقة أدنى، فلا أثر كهربائي. بما أن طاقة ترابط الإلكترون تتوقف على طبيعة المادة، فإن العتبة التي من أجلها نرى الأثر الفوتوكهربائي تختلف وكذلك لون الضوء أيضاً.

شكَّل اقتراح الشاب الجريء أنشتاين (كان عمره ستة وعشرين عاماً) مدخلاً لثورة هائلة في الفيزياء. بدأت هذه الثورة عندما تجرأ الشاب لويس دوبرغلي (وأنشتاين أيضاً) الذي كان يدرس التاريخ في مدرسة خاصة، ولكنه كان مولعاً بالفيزياء، ويرتاد بمواظبة مخبر أخيه موريس دوبرغلي (الواقع بالقرب من الشانزليزيه)، على أن يكتب في أطروحة من عدة صفحات، أن العلاقة التي صاغها أنشتاين عن الضوء صحيحة من أجل كل الجزيئات، وبشكل خاص من أجل الإلكترون. اكتشاف أهداب التداخل المولّدة بالإلكترونات، من قِبل الأمريكيين دافيسون ــ وجرنر، سيؤكد فكرة دوبرغلي. إذاً هناك إلكترونات تتداخل! كان ذلك غير معقول ولا يصدق في تلك الفترة، ومع ذلك فهو صحيح.

اعتباراً من هذا الوقت سوف تتطور الفيزياء الكوانتية وسنعود إليها. هناك حديث كثير عن الفيزياء الكوانتية، ولكن ننسى أحياناً كثيرة أن كل هذه المغامرة ليست إلا نتيجة لحسابات الفيزياء الإحصائية. بفرض أن

الفيزياء الإحصائية امرأة مُعَمِّرة، فهي أيضاً تقنية في غاية الحداثة، فقد طبقت بنجاح على مجمل الجزيئات الخاضعة لقوانين الميكانيك الكوانتي الجديدة التي تتعدى نظرية الكوانتا لبلانك: تجمعات إلكترونية، تجمعات حبيبية ضوئية، فوتونات، تجمعات جزيئات نووية... إلخ. سنحدد أيضاً ما يعرف بإحصائيات فيرمي ــ ديراك وتلك التي لبوز ــ أنشتاين، التي تعتبر من الآن فصاعداً وسائل لكل فيزيائي عصري. وهناك تجارب دقيقة جداً واكتشافات أساسية ستكتشف انطلاقاً من هذا. المنهجية، الأهداف، مماثلة لتلك التي لبولتزمان، القوانين هي تلك التي للميكانيك الكوانتي. ولكن بينما أنجز كل هذا التقدم بفضل الميكانيك الكوانتي، فإن الفيزياء التقليدية حققت أيضاً تقدماً هائلاً.

تحويل المقياس

ذكرنا من قبلُ أنه، إذا كان الميكانيك التقليدي يسمح بحساب بعض الخصائص الماكروسكوبية، انطلاقاً من معطيات ميكروسكوبية، فإنه بقي عاجزاً أمام بعض الظواهر. فمثلاً من غير الممكن حساب التغيرات الفجائية لخصائص المادة، مع أنها أساسية. كما نعرف فإنه في الصفر السنتيغرادي (الصفر المئوية)، يتحول الماء إلى ثلج، وفي الدرجة مائة يتبخر كلياً، فجأة، دون سابق إنذار. والشيء نفسه عندما نسخن مغناطيساً إلى درجة حرارة معينة، إنه يخسر فجأة قوته المغناطيسية. وقد اكتشف درجة الحرارة هذه بيير كوري في القرن التاسع عشر. وعندما نُخْضِعُ صخراً إلى إجهادات فإنه يقاوم ثم يتكسر فجأة دون صراخ، ودون إعلام كما يحدث عند حدوث زلزال أو هزة أرضية.

ولإيضاح هذه الخصائص التي تمثل تغيرات فجائية لا يمكن مباشرة حساب التصرف الإجمالي، انطلاقاً من التصرف الميكروسكوبي، إنما نقوم

بالتحول على مراحل. نبدأ من المستوى الميكروسكوبي (مثلاً 10^{-10}أمتار) ثم نحسب الخاصية المتوسطة للمتبقيات التي أبعادها من مرتبة 10^{-9} أمتار. وهكذا سنصطدم مع تجمع جديد من الجزيئات. بمساعدة هذه الجزيئات الأكبر فإنه يتم حساب الخصائص المتوسطة على مقياس 10^{-8} أمتار، وهكذا دواليك... ثم نفعل الشيء نفسه للمراتب 10^{-5}، 10^{-4}، 10^{-3}، وأخيراً من مرتبة المتر الواحد. في كل عملية، بالطبع، يجب أن نتصور أن قوانين التداخل بين التجمعات محققة. ولكن التطبيق والتجربة يبيّنان أن هذا النوع من الحساب، الذي يعبر عنه المثال الشهير المسمى مجموعة تحقيق النظامية Groupe de renormalisation، أو التي يسميها البعض قانون المقاييس Lois d'echelles، هو ذو فعالية هائلة.

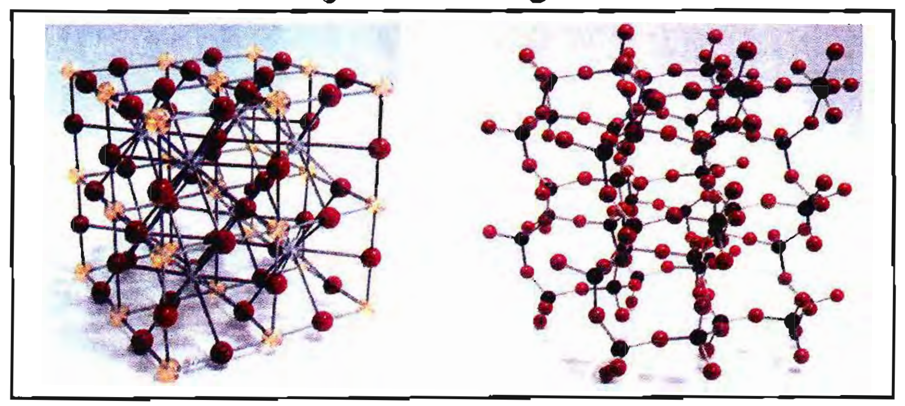
لا يسمح هذا القانون فقط بحساب الخصائص الماكروسكوبية بشكل فعال، ولكنه يسمح بإيضاح قوانين تصرف مماثلة لظواهر غريبة بعضها عن بعض كلياً: البخر ونقطة كوري، الخصائص الميكانيكية للجزيئات ذات السلاسل الطويلة، وللهزات الأرضية... إلخ. ولم يُنتهَ بعدُ من اكتشاف خصائص المادة هذه على المقاييس المتوسطة، بين الميكروسكوبية والماكروسكوبية.

أوضح مخترع طريقة مجموعة تحقيق النظامية، كوين ويلسون، أنه بالتأكيد من الصعب حساب خصائص موجات البحر اعتباراً من خصائص جزيئة الماء، ولكن بالقيام بذلك على مراحل، مروراً بكل المراحل المتوسطة لمقياس المادة، يمكن بدون شك محاولة المغامرة. وقد تمت محاولتها... وتحقق النجاح...، واكتشف أن تركيب المادة، على مقاييس واقعة بين كل من الذرة، والجزيئة والعالم المحسوس لها أيضاً قوانينها الخاصة المتجاورة ولكن المختلفة حسب المقياس المعتمد. انطلاقاً من هذه الطرق، فإن بعض العلماء مثل بيير ــ جيل دوجينس، قد طوروا فيزياء

جديدة تنطبق على ظواهر كانت من قبلُ غير مفهومة: كيف تسيل قطرة ماء تبعاً لطبيعة الحامل لها؟ كيف يتصرف خليط من جزيئات طويلة مقيدة، وكيف، انطلاقاً من ذلك، يمكن توقع خصائص الصمغ؟ ما هي خصائص المادة التي ليست صلبة وليست سائلة والتي نسميها "مادة هلامية (رخوة)"؟. إذاً، سلسلة من الدراسات تقود إلى الكثير من التطبيقات، الصناعية وغير الصناعية. ولكن أيضاً، بفعل هذه المقاربة، بدأنا فهم كيف ـــ على المقاييس المتوسطة ـــ تنتظم المادة لتعطي ولادةً لشكل؟.

لم يكن أرسطو ليريد فك المادة عن شكلها الذي كانت تأخذه، لهذا قاوم فكرة الذرات. ثم فرض هذه الفكرة ولم يعد الاهتمام بالشكل إلا من أجل البلورات. ومع ذلك، بالطبع، فإن شكل الأجسام هو خاصية أساسية لها مدلولها وتفسيرها، ولاسيما عندما تكون هذه الأجسام حية. كيف لبرتقالة أن تأخذ هذا الشكل أو ذاك؟ كيف تنتظم الجزيئات التي تكونها هكذا؟ أسئلة كثيرة كانت حتى البارحة مبهمة، ولكن بدأت الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا الحديثة بالتعرض لها بفاعلية. هكذا هو العلم في تقدم مستمر.

ملحق الأشكال الملونة



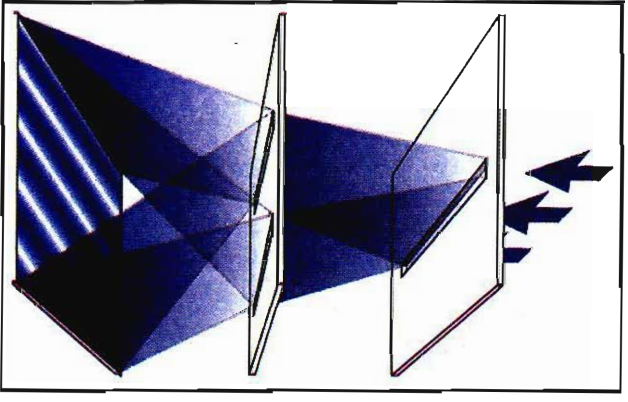
شكل 1

البنية الداخلية لبلورة. الذرات ثابتة بالنسبة لبعضها بعضاً وموزعة تبعاً لبنية دورية ثلاثية الأبعاد. معظم الأجسام الصلبة لها بنيات بلورية... إلى اليسار، بنية بلورية داخلية لفلز البيروفسكيت، الفلز الأكثر شيوعاً وغزارة في باطن الأرض. إلى اليمين، فلز الكريستوباليت، أحد أنواع SIO_2 (الكوارتز).



شكل 2

توضيح لتجربة نيوتن التي استندت إلى استخدام موشورين. الأول يحلل الضوء الأبيض إلى ألوان، والثاني يعيد تركيب الضوء الأبيض من هذه الألوان.



شكل 3

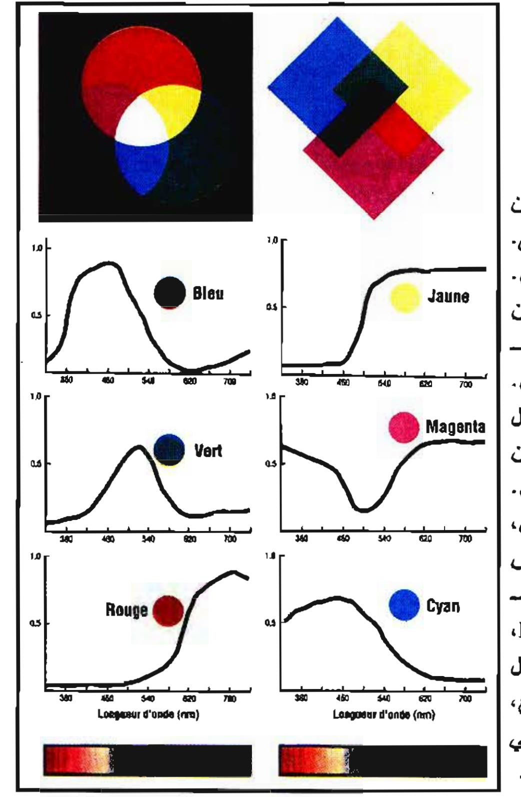
هالات التداخل: تجربة فتحات يونغ. تضاء الفتحتان بالمنبع الضوئي نفسه، فتحيّد الفتحتان ضوءَهما مع نطاق مشترك. تظهر في هذا النطاق شرائط بيضاء وسوداء متعاقبة: إنها تهدبات التداخل.

شكل 4

تمثيل للطيف الشمسي، مع أعداد كثيرة من الأشعة السوداء، كما لاحظها فرانهوفر.

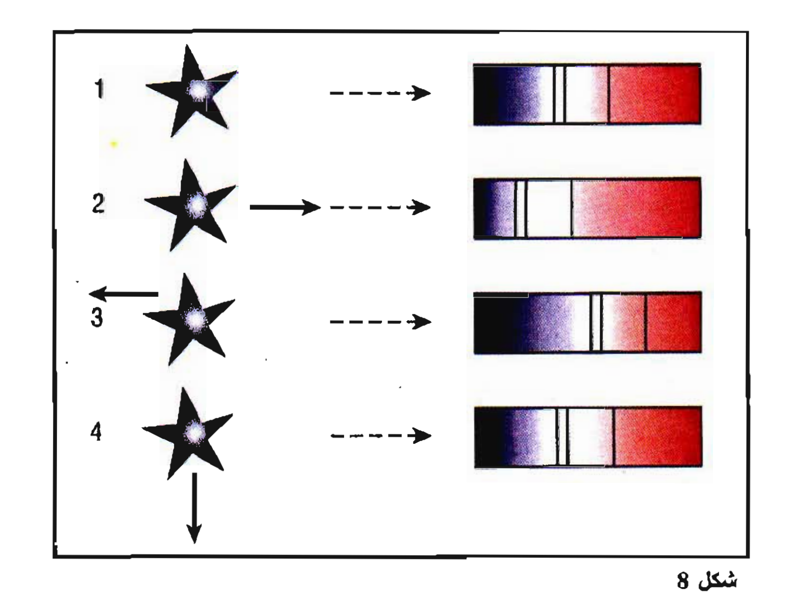
شكل 5

تفسير أشعة الشمس السوداء. تصدر الشمس أشعة حسب تركيبها الكيميائي، ويقوم غلافها الجوي بامتصاص الضوء الموافق لهذا التركيب، ومن هنا وجود الشرائط السوداء التي تمثل المركبات الكيمائية الأساسية. إنها تتواجد مع الشرائط المنبعثة. وقد تم توسيع استخدام هذا المبدأ من أجل التحليل الكيمائي للكواكب التي تستقبل أشعتها المنبعثة والممتصة.



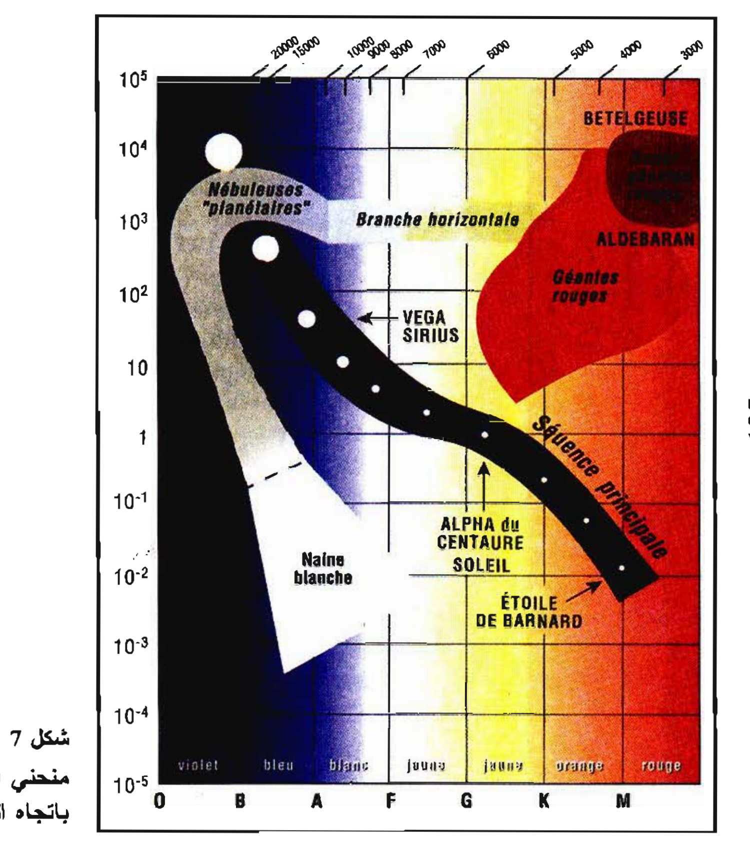
شكل 6

تصوير يوضح كيف يمكن للألوان أن تُجمع أو تُصفَّى. إلى اليسار، جمع للألوان. اعتباراً من ثلاثة ألوان أساسية، أزرق – أخضر – أحمر، يولد ضوء أبيض. في الأسفل، تمثيل لطيف كل لون، وبجمع هذه الألوان نعيد توليد الضوء الأبيض. إلى اليمين، يحصل العكس، يُصفَّى الضوء الأبيض بمصفيات ألوانها أصفر – أحمر فاقع Magenta، أزرق قاتم Cyan. يلغي كل من هذه المصفيات بالتتابع، جزءاً من الطيف، وفي النهاية نحصل على الأسود.



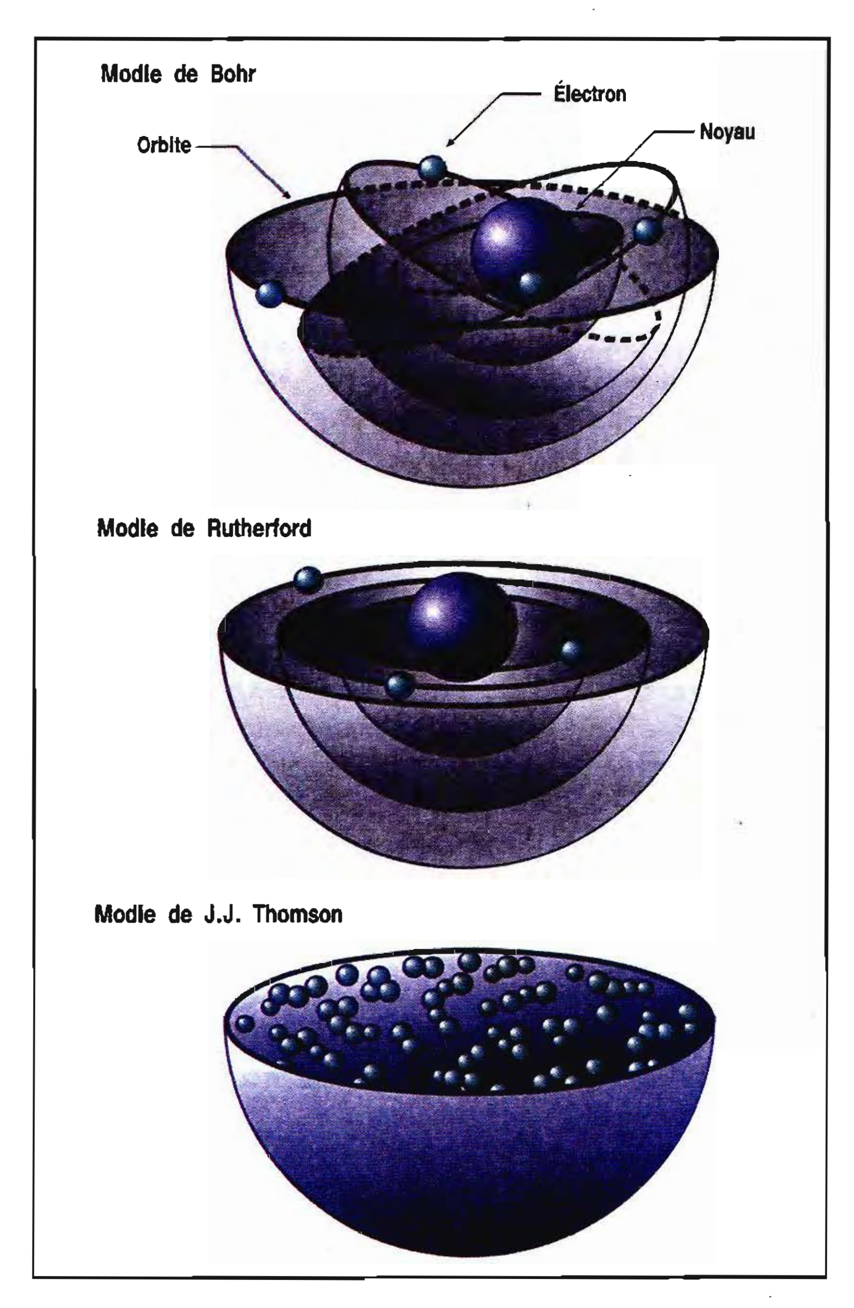
شكل 8

مبدأ أثر دوبلر على حالة أربعة نجوم. النجم العلوي ثابت. النجم الثاني يأتي نحونا، النجم الثالث يبتعد عنا، النجم الأسفل يتحرك بموازاتنا. نتحقق، في كل حالة، تحرك بعض الأهداب المميزة في الطيف الضوئي.



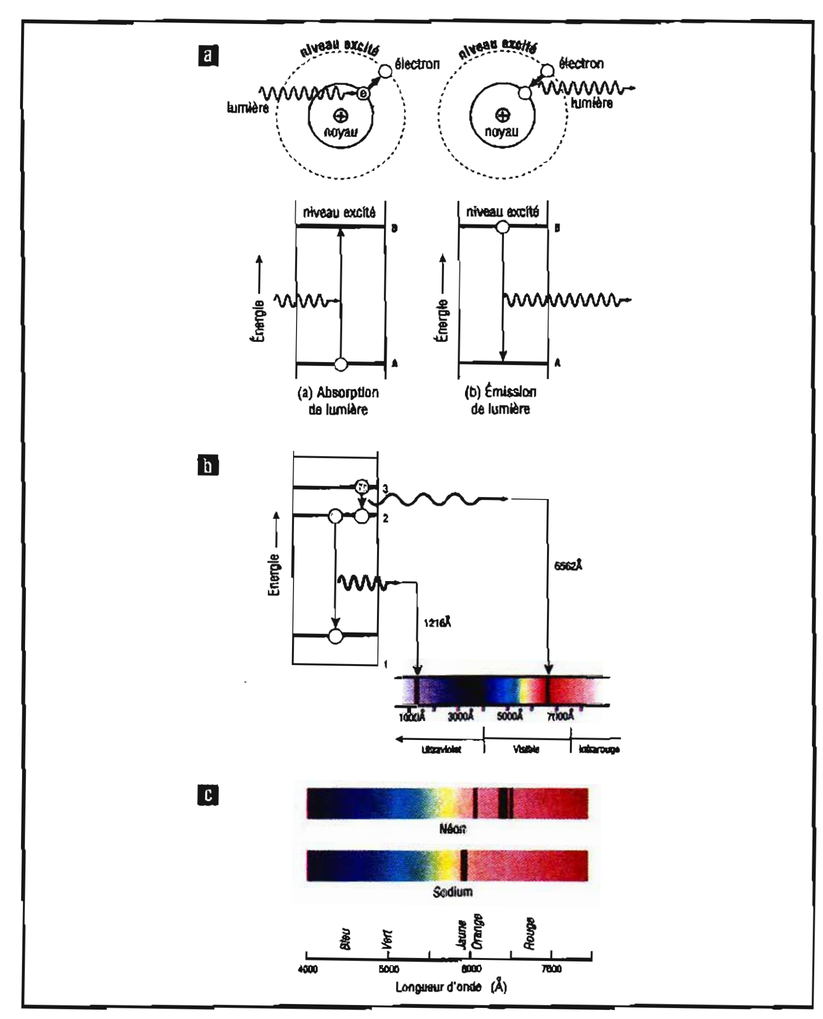
شكل 7

منحني اللون ـ السطعان، لنجوم هرتزبرنغ ـ روسل (لاحظ أن درجة الحرارة تزداد باتجاه اليسار).



شكل 9

النماذج الثلاثة لبنية الذرة. في الأسفل نموذج تومسون، غيوم من الإلكترونات في كرة مشحونة إيجابياً. في الوسط، النموذج الأول لرايزرفورد مقلداً المجموعة الشمسية. في الأعلى، نموذج بوهر.



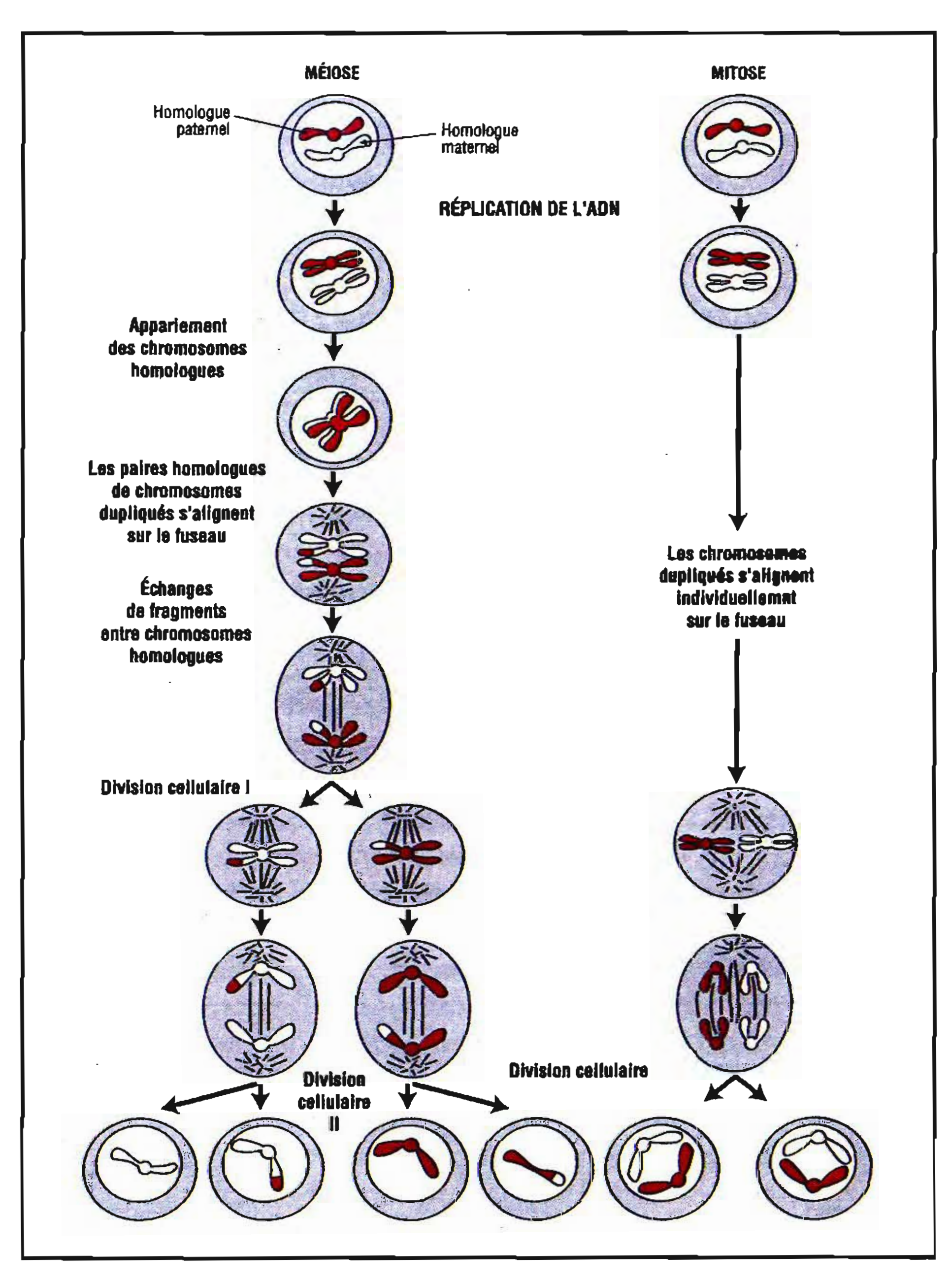
شكل 10

مخطط ترسيمي يوضح كيف أن إلكتروناً، بتغير مداره، يمتص الضوء أو يصدره.

a) تمثيل الذرة مع نواتها ومداريها الممكنين وانتقالاتهما (في الأعلى)، ومستويات الطاقة (في الأسفل). طول موجة الضوء الواصلة أو المغادرة يتوافق مع الطاقة للمرور من المستوى A إلى المستوى B (والعكس بالعكس). الأضوية الأخرى ليست لا ممتصة، ولا منبعثة.

b) إصدار ضوءين بطولي موجتين مختلفتين يتوافقان مع مرورين مختلفين بين ثلاثة مستويات طاقوية. كلما كان فرق مستوى الطاقة كبيراً كان طول الموجة صغيراً، الطيف الضوئي يتوافق مع تهدب بأطوال موجبة متوقعة.

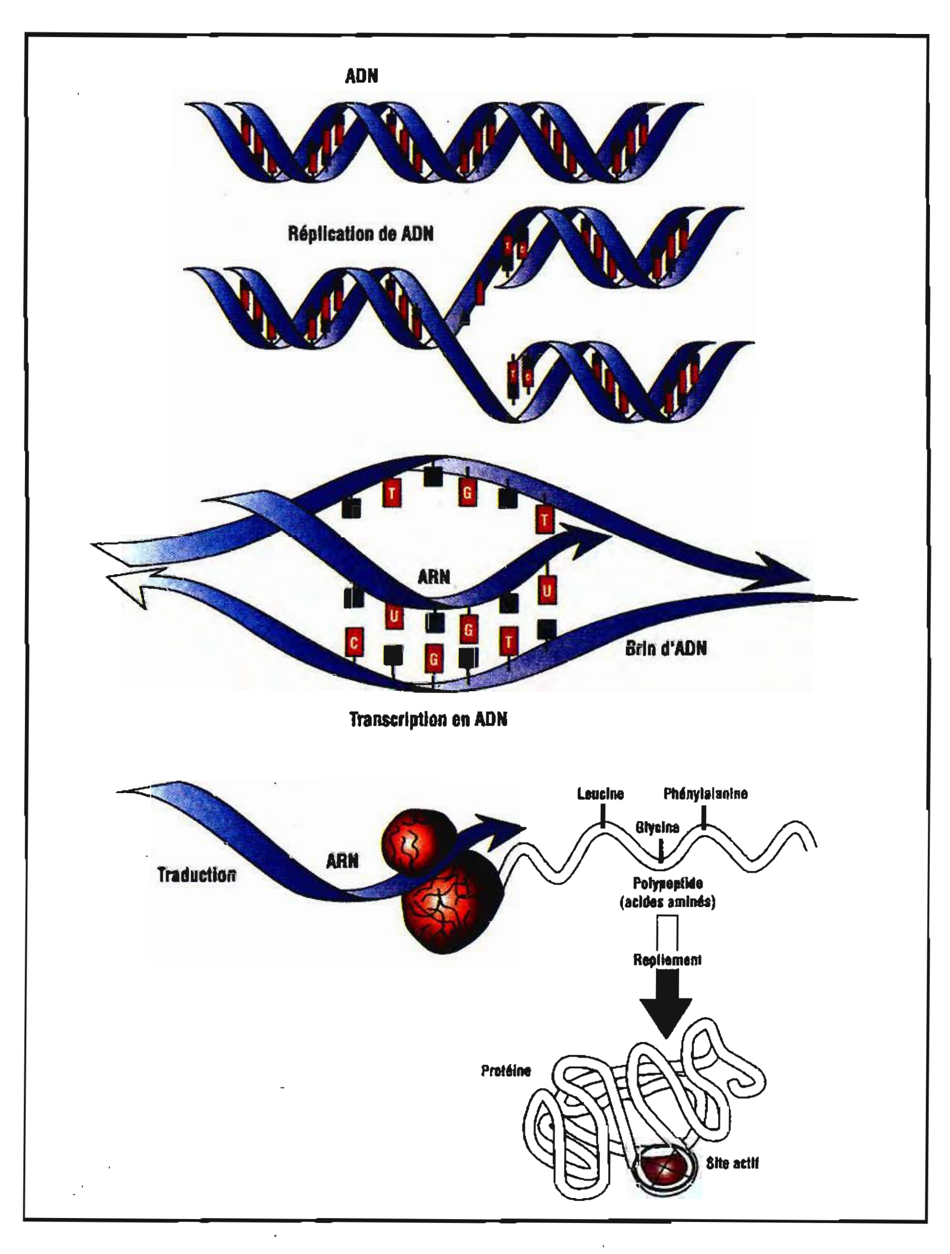
c) هذا الطيف المضاعف يوضح فرق الشارة بين عنصرين كيميائيين، مع أنهما متجاوران في جدول مندلييف: النيون والصوديوم. هذا هو مبدأ التحليل الكيمائي الطيفي.



شكل11

مخطط ترسيمي يوضح الانقسام الخليوي، حسب دوارين.

إلى اليسار: في حالة التكاثر الجنسي (ميوز). إلى اليمين: في حالة التكاثر الخليوي (ميتوز). الصبغيات هي الأجسام المتطاولة، حيث يتكون كل منها من حلزون مضاعف.



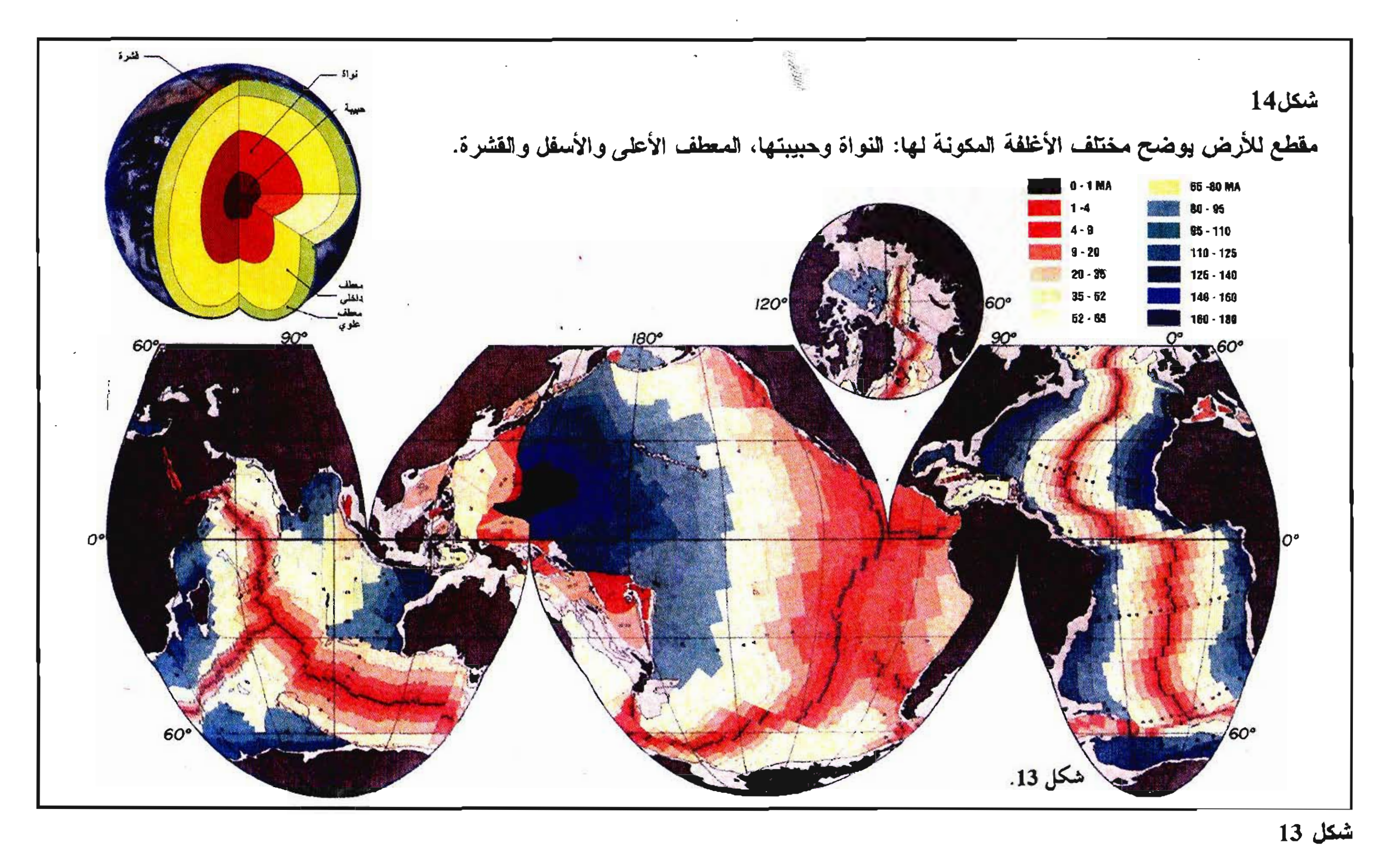
شكل12

شكل ترسيمي يوضح تفصيلات نسخ الـ AND. يعطي كل AND اثنين:

a) كيف تنسخ معلومة AND بالجزيئة الرسول ARN؟.

b) كيف يعطي الرسول ARN تعليماته للجسيم الريبي الذي يصنع البروتينات؟.

c) المظهر العام للبروتين.



شكل14

مقطع للأرض يوضح مختلف الأغلفة المكونة لها: النواة وحبيبتها، المعطف الأعلى والأسفل والقشرة.

شكل 13

خارطة لأرضية المحيطات تبين آلية التوسع لقيعان المحيطات. كل لون يتوافق مع العمر الذي تشكل فيه هذا الجزء من الأرضية أو ذاك.

8

الثـــورة الذريـــة

كان ديموقراط يعتقد أن الذرة هي الوحدة النهائية للمادة. ونعرف اليوم أنه فيما يخص هذه النقطة فإن فكرته كانت غير صحيحة وأنه توجد أجزاء مواد أصغر، "مكونات الذرة ". وهناك أيضاً الجسيمات الصغيرة. وقد شكل اكتشاف بنية داخلية، خاصة للذرة، إحدى أكثر المغامرات الخارقة للعلم. تاريخياً فإنها تندرج في الفترة الفاصلة، أي الممتدة من نهاية القرن التاسع عشر حتى عام 1930. ومع ذلك فلم تكن فترة سعيدة بشكل خاص. فحتى 1914 كان الفرنسيون ينتظرون الثأر من حرب 1870، وأربكتهم القوة العلمية والتقنية الألمانية. وهكذا أصابتهم عدوى المذهب الكارثي الذي هو الإيجابية* Positivisme. وهؤلاء الذين كانوا يعتقدون بإعطاء فرنسا دفعاً علمياً حاسماً سوف يعيقونها لوقت طويل.

أما إنكلترا التي كانت بعيدة عن حرب 1870، فنظرت بقلق إلى الكبرياء الألماني المنتصر. بعد عام 1914 سيكون الكبرياء الفرنسي والإنكليزي الذي سيصعب على الألماني تحمله، ومع ذلك... باختصار، ففي

---

* مذهب أوغيست كونت الذي يؤكد على دور العلوم في تأسيس الفلسفة، والتعبير مرادف للعلم أي أن العصر الإيجابي العلمي، الذي تلا عصر الخرافات والميتافيزيكية، يجب أن يسمح بتأسيس مجتمع علمي قائم على قوانين شاملة. **المترجم**

ظرف عالمي متوتر جداً جرت المغامرة! ولكن لكي نفهم الظروف المحيطة ونقدر جماليتها، يجب معرفة نتائجها النهائية: بنية الذرة.

بنية الذرة "الحديثة"

لنتذكر ما يلي مرة جديدة: كل الذرات مكونة طبقاً لتصور مشترك.

- في المركز نواة. تحوي هذه النواة **غالبية كتلة الذرة**، وتحمل **شحنة** كهربائية **موجبة**.
- حول النواة **تدور** "فوضوياً" **الإلكترونات**. هذه الجسيمات ذات الكتلة الصغيرة تحمل كل منها **شحنة كهربائية سالبة**. هذه الشحنة السالبة هي التي تثبت الإلكترونات حول النواة بالجذب الكهربائي بين النوى والإلكترونات. القوى التي تؤمن استقرار التجمع الذري هي ذات طبيعة كهربائية، وبدقة أكثر فإنها كهرامغناطيسية.

الواقع أنّ الإلكترونات تنتقل في فضاء ذي أبعاد هائلة بالنسبة لأبعاد النواة. إن أبعاد ذرة، أي الفضاء الذي تنتقل فيه الإلكترونات، تقاس بالأنغستروم ($\mathring{A}$) (1 $\mathring{A}$ يساوي جزءاً من مائة مليون من السنتيمتر= 10^{-10} متر). أما أبعاد النواة فهي أصغر بـــ 10000 ــ 100000 مرة*. الذرة مكونة، كما ذكرنا من قبل، من فراغ مملوء بحركة الإلكترونات حول النواة.

إذا كبَّرنا ذرة بشكل هائل، حيث أن قطر النواة يكون متراً أو مترين فإن نصف قطر الفضاء الذي سينتقل فيه الإلكترون سيكون معادلاً للمسافة مابين باريس وأورليان: 100 كيلومتر.

---

* الأبعاد الحقيقية للإلكترون غير معروفة بشكل صحيح بل ومتناقضة لأسباب معقدة بعض الشيء، ويصعب شرحها هنا.

كهربائياً الذرة حيادية، وبما أن الإلكترونات مشحونة سلبياً، فإن الشحنة الكهربائية للنواة موجبة، وتقاس بقيمة مطلقة، بعدد الإلكترونات التي تدور حولها. هذه البنية، نواة ـــ إلكترونات في كثير من الفراغ متماثلة لكل الذرات، ولكن كل الذرات ليست متماثلة. ذرة الهيدروجين لها إلكترون واحد، ذرة اليورانيوم لها 92 إلكتروناً. مختلف الذرات تختلف بدرجة تعقيدها. الفراغ مشغول قليلاً أو كثيراً بحركة الإلكترونات. هكذا إذاً ذرة اليورانيوم أكبر من ذرة الهيدروجين لأن الفضاء المشغول بالإلكترونات الاثنين والتسعين (التي تدفع بعضها لأنها مشحونة جميعها سلبياً) التي هي في حركات سريعة لا تتوقف، هي أكبر من ذلك المشغول بإلكترون واحد. وعليه، ببساطة، فكل عنصر كيميائي يتحدد بعدد إلكترونات ذراته التي تدور حول النواة.

يمكن أن نختم هذا الوصف الأول، هذه المقاربة الأولى للذرة حالما نقول أن النواة نفسها هي ذات تركيب **معقد**، ومكونة من **جسيمات** أساسية هي **النترونات والبروتونات**. مع أن كتلتيهما متعادلتان فإن النترون حيادي الكهربائية في حين أن البروتون يحمل شحنة كهربائية موجبة. ولتأمين الحيادية الكهربائية للذرة، أي كي تعدل الشحنات الموجبة تلك السالبة، فإن **عدد البروتونات** في النواة يعادل **عدد الإلكترونات** التي تدور حولها. أما عدد النترونات فلا يلعب أي دور في التوازن الكهربائي. النترونات موجودة، بنوع ما، كإضافة. إنها تثقل بوزنها لا بشحنتها لأنها معدومة، وربما أيضاً ببعض الخصائص الأخرى الأكثر تعقيداً. ولكن، وهذا مهم، فعددها متغير من ذرة لأخرى وحتى بالنسبة للعنصر نفسه، مما سيعقد أيضاً بناء الذرة. تحوي نواة ذرة الهيدروجين بروتوناً ولا يوجد أي نترون، وتحوي نواة ذرة اليورانيوم 92 بروتوناً و16 نيترونا، وبالتالي فهي أثقل بكثير من ذرة الهيدروجين. لازلنا بعيدين عن ذرة ديموقراط البسيطة المتراصة.

بهذه البنية الداخلية للذرة، كنا قد قطعنا علاقتنا مع ديموقراط أو بالأحرى مع رؤيته. كان يقول أن المادة مكونة من فراغ وذرات، ونضيف الآن: ولكن الذرة نفسها هي فراغ وجسيمات. لنرَ سريعاً، كيف كونّا هذا النموذج للذرة بالتركيز على بعض النقاط الأساسية؟ لنعد إذاً إلى نهاية القرن التاسع عشر.

معركة الأشعة المهبطية

بعد أن فهمنا جيداً الظاهرة الكهربائية، وبيّنا أن الماء المشحون بالملح ينقل التيار الكهربائي وفهمنا جيداً ظاهرة التحليل الكهربائي Électrolyse*، أراد ميكائيل فاراداي أن يعرف: هل الغاز والفراغ أيضاً ناقلان؟ جهز لهذه الغاية أنابيب لها قطبان موجب وسالب، أي يتصل كل منهما بمأخذي بطارية فولتا أو بأحد المولدات الكهربائية التي خلص لتوه من اختراعها. قام بتفريغ الأنبوب، والواقع أنه كان تفريغاً سيئاً جداً وبقي الأنبوب مملوءاً بغاز مخلخل ولكنه لم يتبين ذلك جيداً. عندما وصل التيار، لاحظ أن وميضاً باهتاً كامداً يتواصل من القطب السالب إلى الموجب (هو الوميض نفسه المستخدم اليوم للإضاءة في أنابيب النيون). سنطلق على هذا الوميض سريعاً أشعة مهبطية. تساءل الذين خلفوا فاراداي: ما هي طبيعة هذا الوميض؟.

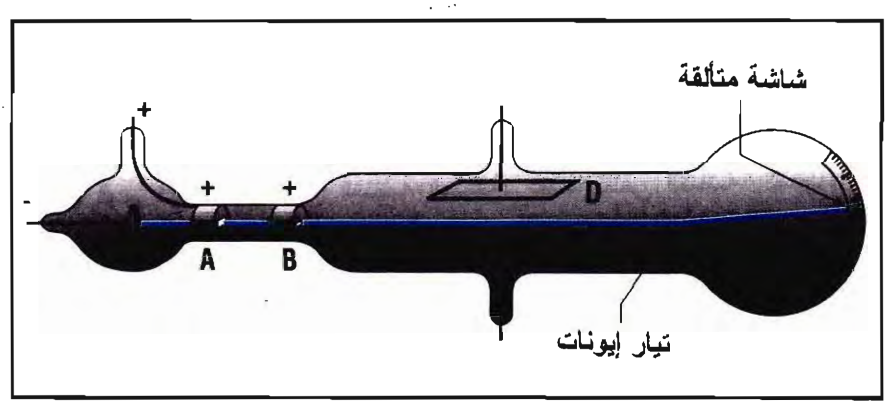
كان هذا الوميض، بالنسبة للإنكليزي كروكس، الذي حسّن كثيراً تجهيز فاراداي عبارة عن جسيمات، نوعاً من الإيونات، التي تتشكل أثناء التحريض، التي، بالفرك مع الفراغ المتبقي، يولد هذا الوميض. أما بالنسبة للألماني لينارد**، تلميذ هرتز (مكتشف الموجات الكهرامغناطيسية)، فقد

---

* تفكك كيميائي بالتيار الكهربائي ومن تطبيقاته طلاء الأجسام بالمعادن (مثلاً بالفضة). **المترجم**

** نال لينارد جائزة نوبل ولعب دوراً هاماً لدى هتلر في محاولته لتصنيع القنبلة الذرية.

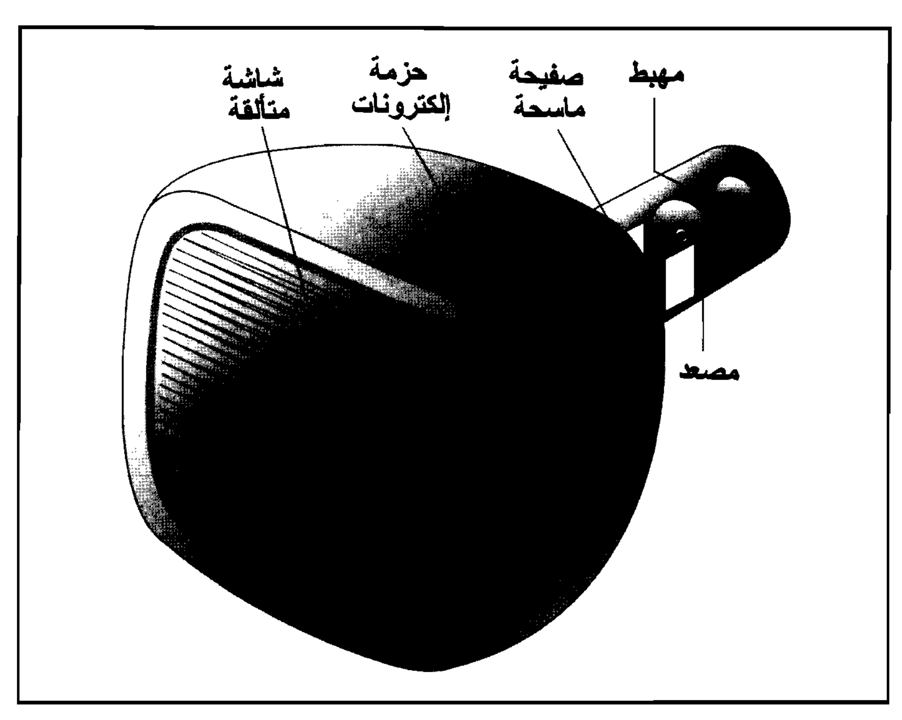
كان موجاتٍ. الموجات تحرض الفراغ المتبقي وتولد الضوء الكامد هذا. وكان كل طرف يتبادل براهين وتأكيدات دون دماثة أو رقة، الأمر الذي جعل النقاش يتحول سريعاً إلى نوع من المخاصمة الوطنية، منازلة ألمانية إنكليزية. مع ذلك، فإن شاباً فرنسياً حديث السن هو جون بيرين، مبرز ومتفوق في مسابقة القبول Agrégation، لوظيفة أستاذ في مخبر الفيزياء، في مدرسة دار المعلمين العليا (أعلى موقع للفيزياء الفرنسية)، هو الذي سوف يقدم في عام 1859 البرهان الحاسم لصالح الجزيئات المشحونة. فبمساعدة مغناطيس، حيَّد الأشعة المهبطية (الوميض الكامد)، ثم وضع حوض فاراداي، أي علبة معدنية، في المكان الذي تلاقي فيه الأشعة الأنبوب، فحصل على تيار قام بقياسه. إذاً الأشعة المهبطية مكونة فعلاً من تيار كهربائي، أي من تدفق جسيمات مشحونة كهربائياً، كما في حالة المحرض. فتبين هكذا أن الإنكليز على حق (انظر الشكلين 1.8، 2).



شكل 1.8

أنبوب تومسون التفريغي

حزمة من الأشعة المهبطية المنبعثة من القطب السالب، تركز في A وB وتمر بين D، E حيث يسود حقل كهربائي، في حين يولد حقل مغناطيسي عمودي على الحقل الكهربائي بواسطة وشائع موضوعة خارج الأنبوب (بحسب إ. سيرجي E.Sergé).



شكل 2.8

أنابيب الأشعة المهبطية، والمسماة شيوعاً أنابيب مهبطية، وهي تستخدم في أجهزة التلفاز. كما رأينا حدد تومسون مدارات الأشعة المهبطية (غير المرئية)، انطلاقاً من نقطة مولدة بفعل التداخل مابين هذه الأشعة وجدران أنبوب زجاجي. النقطة المضيئة تستخدم اليوم لتشكيل الصورة على الشاشة المتألقة للأنابيب المهبطية. الأنبوب التلفازي هو أنبوب مهبطي موجه نحو المشاهد. في الأنبوب، تتوزع الأشعة المهبطية بفعل قوى كهربائية فتمسح الشاشة المتألقة. عندما تتلقى الشاشة، المغطاة بطبقة خاصة، الأشعة المهبطية، تتشكل نقطة مضيئة. إشارة تشغيل التلفاز تتحكم بشدة الأشعة المهبطية في كل لحظة، بحيث تظهر على التلفاز، بإرادتنا، نقاط مضيئة أو عاتمة. بطء الدماغ والعين بالنسبة لبنيتيهما المتغيرة تسمح لنا بالحصول على رؤية جمالية للصورة المولدة (حسب ستيف وينبرغ Steve Weinberg).

هنا، فجأة تتدخل كامبردج. يعيد تومسون تجربة بيرين ولكن في هذه المرة يقوم بحرف الأشعة المهبطية، لا باستخدام حقل مغناطيسي فقط، وإنما أيضاً استخدم حقلاً كهربائياً، مما حمل على الاعتقاد بأن الأشعة المهبطية هي أنواع ما من الإيونات. التفريغ الكهربائي في الأنابيب المفرغة سيعكس

إذاً مظهراً لتفكك غازي. قام تومسون بحساب العلاقة بين الشحنة الكهربائية وكتلة الجسيمات، باستخدام العلاقات الرياضية الكهرامغناطيسة، وذلك بقياس انحراف الأشعة بدلالة شدَّتي الحقل المغناطيسي والحقل الكهربائي المطبقتين. ثم أضاف فرضية هامة للعمل: إذا اعتبرنا قيمة الشحنة الكهربائية، هي القيمة الكهربائية الأساسية التي حدَّدها فاراداي أثناء تجارب التفكك التي قام بها، فإن الكتلة التي تم الحصول عليها من أجل جزيئة مشحونة، هي ضعيفة جداً، أقل بـــ 1800 مرة من كتلة أخفّ ذرة، التي هي ذرة الهيدروجين. هذه الجسيمات التي تنتقل من القطب السالب إلى القطب الموجب ليست ذرات وليست إيونات، كما هو الأمر في حالة التفكك. فما هي إذاً؟ لا يعرف تومسون ذلك جيداً، ولكنه اقترح تسميتها **جسيمات صغيرة Corpuscules**، وهي كلمة ستمحى سريعاً أمام كلمة **إلكترونات** (الحاملة للكهرباء).

ولكن من أين تأتي هذه الإلكترونات؟ إنها لا تستطيع أن تأتي إلا من المهبط. التيار الكهربائي اقتلع إذاً الإلكترونات من المهبط. المهبط، الصلب والمعدني، يحوي إذاً إلكترونات قادرة على أن تتحرر منه. الإلكترونات هي إذاً جزيئات مشحونة سلبياً ومكونات أساسية للمادة الصلبة*. وعليه فالأشعة المهبطية ليست موجات ولكن جزيئات، جسيمات صغيرة من المادة. لندفع بالمحاكمة بعيداً بعض الشيء. تساءل تومسون: هل المادة مكونة فقط من إلكترونات؟ وعليه فقد وضع نموذجاً للذرة تلعب فيه الإلكترونات الدور الرئيسي. الذرة كما يرى، هي مجموع إلكترونات تنتقل داخل كرة قطرها محدد. تحمل هذه الكرة، التي جدرانها لا متناهية الرقة، شحنة كهربائية

---

* كتلة الإلكترون هي 9.109×10^{-31} كغ، وكتلة ذرة الهيدروجين هي 1.62×10^{-27} كغ.

موجبة لكي تؤمن الحيادية الكهربائية للمجموع، كما تحوي في داخلها على جماعة من الإلكترونات. إضافة إلى واقع أن طبيعة الجدران الكهربائية الموجبة بقيت سراً، فإن تومسون واجه مشكلة الكتلة. معروف منذ أفوغادرو حساب كتلة ذرة واحدة لعنصر محدد بتقسيم الكتلة الذرية على عدد أفوغادرو 6.02×10^{23}! ولكن كيف يمكن تفسير هذه الكتلة مع إلكترونات بهذه الدرجة من الخفة؟ لم يتردد تومسون في تخيل أن ذرة واحدة تحوي آلاف الإلكترونات.

تتابع المصادفات الخفية

كان باستور يقول: «لا يتحقق الحظ إلا مع العقول المهيأة له». فقد اكتشف ويلهيلم كونراد رونتجن، الأستاذ في جامعة فايرزبيرغ مصادفةً أشعة إكس، عبر تجاربه على الأنابيب المهبطية للبرهان على وجود الموجات وتأكيد النظرية الألمانية، إذ قام بتغطية أنبوبه المهبطي بورق كرتون أسود وراح يتأكد فيما إذا، كما يزعم لينارد، كان هناك موجات تنطلق من الأنبوب. وكان بجانبه شاشة متألقة تعمل ككاشف. وأمام دهشته رأى مخطط يده مُسقَطاً على الشاشة المتألقة. أعاد التجربة وأحل محل الشاشة المتألقة، لوحة تصوير، فحصل هكذا على أول مسودة "كليشة" إشعاعية: عظام أصابعه واضحة على أرضية عاتمة.

ما هي إذاً هذه الأشعة الخفية التي تخترق المادة، والتي توقفها العظام؟ كان رونتجن لا يعرف ذلك، ولكن ما يعرفه هو أنه حقق اكتشافاً كبيراً. قال ذلك لزوجته، وهو مضطرب المزاج، ولكنه لم يقُل لها ماهية هذا الاكتشاف، وراح يعمل ليل نهار ويضاعف التجارب، فوجد أن كل شيء متناسق، وتحقق من اكتشافه. لقد اكتشف أشعة جديدة. الأشعة

المهبطية هي موجات، والألمان على حق. وهكذا نشر بحوثه وأطلق على هذه الأشعة، أشعة X (X هو رمز للمجهول في الجبر). هذا الاكتشاف جعله ينال أول جائزة نوبل في الفيزياء عام 1902، مع أن طبيعة أشعة X لم تعرف إلا بعد ستة عشر عاماً، بفضل أعمال ماكس فون لاو في ميونيخ. اكتشاف رونتجن الذي تحقق في عام 1895، أثار مباشرة هيجاناً كبيراً في أوروبا، عند الأطباء بالطبع، لأنهم أصبحوا، من الآن فصاعداً، يملكون وسيلة استكشاف الجسم البشري، تقنية وضعوها في الاستثمار مباشرة، ولكن أيضاً عند الفيزيائيين، الذين أثارت فضولهم هذه الظاهرة الجديدة.

على المستوى الأساسي، فقد أثار اكتشاف رونتجن الاضطراب. كان يعتقد أن كلاً من بيرين وتومسون قد برهن على أن الأشعة المهبطية كانت مكونة من جسيمات، وها هو ألماني يبرهن، هو الآخر، على أنه توجد أيضاً أمواج، إذ أنه لا يمكن تصور جسيمات تخترق ورق الكرتون الأسود! الطبيعة بالواقع تخبئ حقيقتها.

في إحدى مقصورات حديقة النباتات

كان هنري بيكريل في هذا الوقت، أستاذ الفيزياء في المتحف الوطني الطبيعي الفرنسي. كان بتصرفه مخبر صغير في حديقة النباتات (قريب جداً من شارع كوفييه Cuvier الحالي[*]). كان فيزيائياً جدياً، ابناً لسلالة فيزيائيين، اختصاصها الحديث دراسة ظاهرة التألق. التألق هو خصيصة

---

[*] كان المترجم يعمل حين تحضيره دكتوراه الدولة في مخابر الجيولوجيا التابعة للمتحف الوطني الطبيعي في شارع بيفون Buffon على الطرف الآخر من حديقة النباتات هذه، مع أنه كان يتبع إدارياً لجامعة باريس في جيسيو، وذلك في الفترة من 1976 ــ 1978. **المترجم**

بعض الأجسام بإصدار ضوء بُعَيدَ إضاءتها ببعض الوقت، يمكن اعتبارها نوعاً من تخزين الضوء. اهتم بأشعة X، لأن رونتجن في إحدى مقالاته، ذكر أن هذه الأشعة تأتي من مكان ما من أنبوب مفرغ نسقط عليه أشعة مهبطية فيصبح متألقاً، متألقاً، متألقاً... تأكد بيكريل أن أشعة إكس هي وليدة ظاهرة التألق، اختصاص عائلة بيكريل*. وهكذا باشر تجاربَ، انطلاقاً من خامات اليورانيوم الصفراء التي كانت معروفة بخصيصة التألق. فبعد تعريضها، ثم وضعها جنباً إلى جنب مع صفيحة فوتوغرافية، فإن ملح اليورانيوم أصدر أشعة ظللت الصفيحة الفوتوغرافية. وعندما يوضع جسم بين اليورانيوم والصفيحة الفوتوغرافية فإن شكل الجسم يظهر على الصفيحة. عندها لم يشكّ بيكريل بأنه اخترق السر الخفي لأشعة إكس. هذه الأشعة، التي تنار بأشعة الشمس، هي التعبير النهائي والواضح المرئي لظاهرة التألق.

ومع ذلك ففي نهاية شباط من عام 1896، كان الطقس في باريس يسوء، فالشمس لا تظهر، ومن غير الممكن حدوث التألق. وضع بيكريل لوحته الفوتوغرافية باحتكاك مع خام اليورانيوم منتظراً نتيجة سلبية. ولكنه لاحظ مندهشاً: بأن اللوحة الفوتوغرافية قد تأثرت، وعندها وضع خام اليورانيوم في الظلام، فاستمر بالتأثير على اللوحة الفوتوغرافية فاستنتج أن الأمر ليس ظاهرة التألق وإنما شيء آخر. بين فرح من جهة وخيبة من جهة أخرى، عرض بيكريل اكتشافه على أكاديمية العلوم في باريس دون أن يفسر السبب. لقد اكتشف **الإشعاعية Radioactivité**. نشاط **إشعاعي** غير معروف السبب.

---

* أكد ذلك عند استلامه جائزة نوبل فبين أن اكتشافه للإشعاعية كان بسبب دراسة أبيه للتألق.

بعد قليل من الوقت من اكتشاف بيكريل، اقترح شاب فرنسي هو بيير كوري، على طالبته البولونية الجديدة، ماري سكلودوسكا* أن تحاول استكشاف طبيعة الظاهرة الغريبة التي اكتشفها للتو بيكريل. وكان ذلك هو موضوع أطروحة الدكتوراه التي حضَّرتها.

كان بيير كوري قد صنع من قبل مقياساً كهربائياً، جهازاً لقياس الشحنات الكهربائية. تبين له مع ماري أن المواد المشعة تصدر إشعاعات تحرر المقياس الكهربائي، إذاً هي إشعاعات مشحونة كهربائياً. يسمح المقياس الكهربائي في كل الحالات بقياس نشاط المواد المشعة. تبين، بيكريل، الذي باشر بالتعاون مع كوري (بيير وماري)، من جانبه أن هذه الإشعاعات معقدة: بعضها يبدو حساساً للحقل المغناطيسي وبعضها الآخر لا يتحسس، أحياناً يكون الأمر واضحاً وأحياناً أخرى أقل حساسية بكثير. هنا تندلع جدالات عنيفة ضد الفرنسيين الثلاثة.

وبشكل مباغت ومثير جداً، اكتشف بيير كوري أن نشاط، (أي الشارة المولدة في المقياس الكهربائي) غرام واحد من اليورانيوم المنقَّى كيميائياً أقل من نشاط غرام واحد موزع في صخر وزنه كيلوغراماً واحداً. باختصار فإن اليورانيوم الموزع الممدد (الأقل كثافة) أكثر نشاطاً من اليورانيوم المركَّز. لنتصور أن الباستيس** الممدد بالماء أقوى من ذاك

---

* تزوجت ماري من أستاذها بيير كوري وأصبح اسمها ماري كوري التي، نالت جائزة نوبل مرتين. في عام 1903 مع كل من بيير كوري وبيكريل عن النشاط الإشعاعي، وفي عام 1911 عن اكتشاف الراديوم والبولونيوم (عزل الراديوم) مع العلم أنها بولونية الأصل، ومتجنسة فرنسية. وانجبت ابنتها إيرين التي تزوجت من فريدريك جوليو وقد نالان معاً جائزة نوبل أخرى. **المترجم**

** مشروب كحولي مصنوع من اليانسون يتمدد بالماء ويعطي مزيجاً أبيض اللون وهو المقابل للعرق، المعروف وطنياً. **المترجم**

النقي! أمر لا يمكن فهمه! وهكذا انبرى الإنكليز فوراً ليؤكدوا أن الفرنسيين يقولون أي كلام، وأن الظاهرة الجديدة التي اكتشفوها نوع من "السحر" فوق الطبيعي تماماً، كما لو أن بيكريل والكوريَّين بيير وماري، مشعوذون ودجالون.

ردت ماري كوري بصوت قوي النبرة والمعنى وبإدراك حدسي، بأنه إذا كان الصخر أكثر نشاطاً، فذلك لأنه يحوي مواد أخرى مشعة غير اليورانيوم، وهذا ما تجب البرهنة عليه. وسيكون ذلك عملاً متحدِّياً صبوراً، مضنياً خطيراً، يهدف إلى عزل العناصر المشعة "الوسطية". العنصر المشع الأول الوسطي المكتشف، أهدته ماري إلى بولونيا وأسمته البولونيوم، ثم سيأتي دور العزل المنهك للراديوم، الذي سيضحي الكوريَّان، وخاصة ماري، خلاله بحياتهما، غير مدركين الخطر الذي يحيق بهما من جراء إشعاعات المواد المشعة (التي سنعود إليها).

تصوروا أنه لعزل الراديوم، فإن الكوريَّين عالجا أطناناً من خامات اليورانيوم الآتية من منجم جواشيمستال Joachimsthal في بوهيميا. تصوروا معي الكيمياء... حلُّ الصخور في حموض* قوية، عزل في قدور كبيرة وكل ذلك لمواد مشعة! المستودع الذي وضعته بتصرفهما مدرسة الفيزياء والكيمياء لمدينة باريس، هو نفسه الذي بقي يديره، خلال خمس وعشرين سنة بعدهما، بيير جيل دوجينس، شارع فوكلن. كان يملأ ببخار حموض فلور وكلور الماء والكبريت والآزوت الضرورية لحل الصخر، والكل يسبح في حرارة خانقة. أي كابوس حقيقي هذا! ولكن سيجدون، في هذا الوقت، مناصراً لهم، منافساً مخيفاً ورهيباً، يتمثل بشخص شاب نيوزيلندي هو إرنست رايزرفورد.

---

* حمض فلور الماء HF، حمض الكبريت H_2SO_4، حمض كلور الماء HCl، حمض الآزوت H_2NO_3.

قدم رايزرفورد إلى كامبردج وبدأ العمل مع تومسون، على الظواهر المغنطيسية. فاكتشف هنا، بدهشة، التقدم الحديث الذي حققته الفيزياء: أشعة إكس، الإلكترونات، الإشعاعية... فازداد ولعه وشغفه، وأخذ إدراكه الحدسي يقلقه. بدت له هذه الاكتشافات الحديثة أكثر أهمية من المغناطيسية، ولكن كيف يجب أن يفعل ليقنع تومسون، المدير الذي لا يخطئ؟ ولم يتأخر الحظ لنجدته، ففي معرض تفتيشه عن وظيفة أستاذ، غادر جامعة كامبردج إلى جامعة ماك جيل MC. gill في مونتريال. هنا سوف يستطيع أن يتفرغ لدراسة الإشعاعية، وأن يحقق، لمجال من البحث لا يجذب اهتمام إلا قلة من الناس، مساهمة حاسمة. يمكن القول هكذا أن كل الاكتشافات الهامة فيما يتعلق بالإشعاعية هي نتيجة **لأعمال فريق فرنسي صغير وفريق كندي صغير**، على مرأى من لامبالاة الآخرين. وأما أعمال ومساهمات بيير وماري كوري ورايزرفورد فإنها متشابكة مع أعمال الآخرين بحيث يصعب تمييز هذه عن تلك: أحياناً ينطلق الإلهام من باريس والتنفيذ يتم في مونتريال، وأحياناً يحدث العكس، والنتائج تتوالى.

الإشعاعية ظاهرة آنية لبعض العناصر الكيميائية، بغضّ النظر عن طبيعتها الكيميائية أو حالتها الفيزيائية (غازية، سائلة أو صلبة). تكمن هذه الظاهرة في تحول (يقال تغيرها Transmutation*) بعض العناصر إلى عناصر أخرى. كانت هذه الفكرة جريئة للغاية بحيث أن رايزرفورد تردد قبل أن ينشرها قائلاً لزميله في جامعة ماك جيل، الكيميائي وليام سودي: «يشبه هذا كثيراً الشعوذة Alchimie. كل الناس سيضحكون!». ولكن الإشعاعية شيء من الشعوذة وهنا تكمن خاصيتها الاستثنائية. اليورانيوم

---

* تحول العنصر الكيميائي إلى عنصر آخر من خلال تغير النواة الذرية، المرافق للظاهرة الإشعاعية. **المترجم**

والثوريوم هما، هكذا، الأب لجملة تحولات إشعاعية في تسلسل، تشترك فيه سلسلة من العناصر، التي منها البولونيوم والراديوم الشهير، وغاز ينطلق من خامات اليورانيوم هو الرادون. وهكذا توجد إذاً سلسلة من العناصر المشعة التي أدركتها بالحدس ماري كوري.

تخضع كل العناصر المشعة للقانون الرياضي نفسه في التحول المعروف بقانون التناقص المستمرLois exponentielle négative، وهو قانون بسيط جداً. وعدد الذرات الذي يتحول في واحدة الزمن يتناسب مع عدد الذرات المتواجدة، وذلك مهما كان الشكل الكيميائي أو المحيط الفيزيائي للذرة المشعة. اقترح هذا القانون في الوقت نفسه بيير كوري وإرنست رايزرفورد، اللذان ظنا، أن هذه الظاهرة تسمح بقياس عمر الصخور وتمييز الأعمار الجيولوجية. وهذا ما شكل شغلي الشاغل لحياتي العلمية الخاصة... والكلام للمؤلِّف.

تم التوصل أخيراً، في أعقاب العديد من المحاولات والتجارب، إلى تحديد طبيعة الإشعاعات الشهيرة، التي أعطت اسمها للإشعاعية. هناك حديث عن سلسلة إشعاعية، لأن العملية شبيهة بسلسلة مترابطة. [A] يتحول ليولد[B]، وهذا بدوره يتحول ويعطي [C]، الذي ينجم عنه [D]... إلخ. خلال هذه التغيرات، تنبعث أشعة. من هذه الأشعة، أشعة X وهي شديدة الاختراق، وسنسميها أشعة γ، وهي الأشعة الخطيرة على الصحة، لأنها تخترق الجسم عميقاً وتنتهي بإحداث سرطانات. الأخرى عبارة عن جسيمات مشحونة كهربائياً ــ أحياناً سالبة، إنها الإلكترونات (أشعةβ) ــ وأحياناً موجبة، هي ذرات الهليوم المتأينة (المتحولة إلى إيونات؛ أشعةα). الهليوم هو عنصر كيميائي غازي في درجة الحرارة العادية، تم اكتشافه وعزله منذ وقت قريب.

بعد سنوات أولى من الشك، فإن المجتمع العلمي سيقوِّم أهمية هذه الاكتشافات التي بقيت لزمن طويل على تخوم الفعالية العلمية النشطة، وبالتالي فالعمل الرائع الذي أنجزه هؤلاء الأعمدة العلمية سيُعترَف به أخيراً، وذلك عبر اعترافات علمية مختلفة موثَّقة، منها جائزة نوبل، ودخول الباحثين إلى مختلف الأكاديميات العلمية في العالَم (باستثناء ماري لأنها امرأة!). يا للأسف: البؤس سيجتاح الفريق الفرنسي، ففي 16 نيسان 1906 بعد أن انتخب (أخيراً!) في أكاديمية العلوم، صدمت سيارة بيير كوري فخَرَّ الفارس صريعاً وتوفي. بعد سنتين توفي بيكريل عن عمر ست وخمسين سنة.

بقيت ماري كوري وحيدة لتقود الفريق الفرنسي، مضعفة جداً، ولتحافظ على التنافس مع فريق إرنست رايزرفورد، المحاط بالعديد من الطلاب النابغين الموهوبين، لأن الإنكليز فهموا سريعاً الأهمية الأساسية لهذا الحقل من البحث. بعد عمل سنوات عدة مع ابنتها إيرين وهذا الذي سيصبح صهرها، فريدريك جوليو، نالت إيرين وزوجها جوليو جائزة نوبل.

اكتشاف النواة الذرية

في عام 1910 كان إرنست رايزرفورد قد عاد إلى إنكلترا، وكان حينها أستاذاً في مانشستر. وكان لا يزال يفتش عن اختراق لهذا السر الخفي للإشعاعات المشعة، فاستخدم أشعة α المنبعثة عن عنصر من السلسلَة الإشعاعية، البولونيوم الذي اكتشفته ماري كوري، كي يفهم طبيعته العميقة وخصائصه. جاءته فكرة استخدام أشعة α هذه لقذف صفحات معدنية رقيقة جداً (من الذهب والألمنيوم). وهكذا قذف صفيحة رقيقة جداً من الألمنيوم بجزيئات α المنبعثة من البولونيوم وراقب ما يحصل لها، فوجد أن الغالبية العظمى تجتاز بخط مستقيم صفحة الألمنيوم، فتساءل: هل المادة مصنوعة من فراغ! وبعضها اجتاز صفحة الألمنيوم بعد أن عانى من انحراف، وعدد

آخر أقل ارتد جانبياً على صفحة الألمنيوم؟ أعاد التجربة فحصل على النتيجة نفسها.

انطلاقاً مما سبق استنتج أن صفحة الألمنيوم تحتوي بداخلها على **نوى ثقيلة جداً**، ثقيلة لدرجة أن نوى الهليوم ترتد عنها. وهي دون شك مشحونة بكهربائية موجبة باعتبار أنها تستطيع حرف نوى الهليوم المشحونة إيجابياً. بتطبيق حساب الاحتمالات، الذي يأخذ بالاعتبار نسبة أشعة α المنحرفة وتلك المرتدة، سيتحقق أن هذه النوى الصلبة صغيرة جداً. وهنا صاغ الفرضية الحاسمة. هذه النقاط الثقيلة جداً هي **نوى الذرات** وحول هذه النوى يجب أن تدور الإلكترونات المشحونة سلبياً. وهكذا أوجد، فجأة، حلاً لازدواجية تومسون. ليس من الضروري تصور وجود الكثير من الإلكترونات في ذرة، باعتبار أنها ليس هي التي تشكل الكتلة. **الكتلة هي النواة.**

بهذا وضع رايزرفورد أول نموذج بنيوي مقبول ومعتمد للذرة، نواة تدور حولها الإلكترونات، جملة شمسية مصغرة. شرح أيضاً الطبيعة الذرية للإشعاعية، الموضوع الذي يتعلق به. بالنسبة إليه فإن نوى بعض الذرات تتحطم وتصدر جسيمات وإشعاعات. بتأكيده ذلك فإنه أعطى إشارة البدء لمغامرة علمية كبيرة أخرى! إنها استثمار النواة الذرية، فإذا ما حطمت نوى بعض الذرات وأصدرت جسيمات، فهذا يعني أنها تحوي هذه الجسيمات بداخلها، وأن بنيتها، هي بالذات، معقدة. هنا أقام رايزرفورد الجسر الأكبر مع الفيزياء. وابتكر أيضاً طريقة جديدة لدراسة بنية المادة، إذ قام بقذفها بجسيمات، وكسرها ولاحظ النتيجة. تكسير المادة، يعني تقسيمها أكثر فأكثر. هذه هي الطريقة المثلى للفيزياء اللامتناهية في الصغر. إنها هي اليوم الطريقة المستخدمة في مسرعات الجسيمات كما في مركز الدراسات

والبحوث النووية CERN في جنيف، مع فرق بسيط هو أنه اليوم يتم تسريع الجسيمات بفضل فعل لحقل كهربائي بسرعات قريبة من سرعة الضوء، وأنه يتم تكسير المادة التي تُدرَس أجزاؤها.

كومة من القرميد لا تصنع بيتاً

عندما نراجع هذه المغامرة الخارقة اليوم، فإننا سنصدم بأن كل هذه الاكتشافات تحققت على يد مجربين عباقرة سمحت أعمالهم ودهاؤهم بإيضاح ظواهر جديدة كلياً (لم يكن يشك بوجودها في عام 1890)، ولكنها، من جهة أخرى، لم تكن، أي هذه الظواهر، مرتبطة بأية نظرية عامة، لأية رؤية إجمالية عامة. هذه هي العلوم، لا يمكن الفصل فيها بين التطبيق والنظرية. إنهما مرتبطان بشكل غير قابل للفصل. أحدهما يغذي الآخر أو يؤسس له. إنهما جَنْبا العلوم وغير قابلين للتفريق. ودون أن نعزي ذلك إليه، فغاليلي هو الأول، الذي فهم ذلك (بعد أرخميدس ربما). كان ذلك في بداية القرن العشرين في مواجهة لمشهد علمي جديد ومثير، ولكن باهت الذهنية والذكاء. مشهد وضعت فيه الموجات بالضد مع الجسيمات لتفسير تفريغ الغازات. غير أن شواهد عن هذه وتلك (الإلكترونات وأشعة إكس)، وظاهرة الإشعاعية دعمت كليهما. بدت الإشعاعية، بشكل خاص، كظاهرة أساسية، ولكن غامضة. ماعدا فيزيائيي إنكلترا، فإن القليل من الفيزيائيين اهتموا بها مفضلين العمل على أشعة α. كيف يمكن تجاوز هذا الخلط والتشويش؟ كيف يمكن ربط كل من هذه الاكتشافات في كلٍّ متماسك؟ كما قال هنري بوانكاري بكل جمالية: «كومة من القرميد لا تصنع بيتاً». هكذا تبنى الفيزيائيون دوماً خط السلوك هذا نفسه: إنهم يعتقدون بتماسك العالم وكذلك بوحدة عمله الأساسي. إنهم يظنون أنَّ التعقيد يرقد تحته تصميم أبسط، وعلينا اكتشافه.

كان أمبير وفاراداي قد وحدا وجمعا الكهرباء والمغناطيسسية. ماكسويل جمع الكهرامغناطيسية مع نظرية التموج للضوء. في بداية القرن العشرين طرح الفيزيائيون بعض الأسئلة الأساسية: كيف يمكن توحيد نظريات نيوتن وماكسويل؟ ولازالوا يطرحون هذا السؤال اليوم. كيف يمكن ربط اكتشافات البنية الداخلية للمادة، للذرة، تصرفها، مع نظريات نيوتن وماكسويل؟ كيف يمكن إجراء مصالحة بين المقاربات بمعانٍ موجية وجسيمية تبدو أنها تتنافس في كل مكان فيما يتعلق بتفسير الضوء، كما في تفسير الأشعة المهبطية؟.

مصفي الزمن

باختصار، في بداية القرن، كان هناك شعور بالحاجة الماسة إلى النظرية. أريد في هذه اللحظة أن أتوقف قليلاً عند مسألة واقع العلم، أو بشكل أدق الترابط القائم بين العمل العلمي والاكتشافات الكبيرة. فهذا الفصل هو تمثيل جيد لما سأسميه مصفي الزمن. ما كنت قد وضعته للتو هو أسطورة العلم، تناقضاته، اكتشافاته الساطعة، أبطاله، بشيء من طريقة الماهابهاراتا الهندية (لازلت، أيضاً، أتساءل فيما إذا كان ذلك من تأثير صديقي جون كلود كاريير؟) لأن كل شيء متداخل مختلط ومتراكب دون كثير من الصفاء والشفافية.

هكذا إذاً، في كل مرحلة يبرز بعض الممثلين الحاسمين الذين يوسمون بالعبقرية، لأن التاريخ يقرأ دوماً بالمقلوب طبقاً لقياس التسلسل. الحاضر يضيء الماضي. الواقع أكثر تعقيداً، فيما يخص الاكتشافات كما فيما يخص المكتشفين. أحياناً فإن اكتشافاً أساسياً هو عمل البعض فقط. هذا ما كان عليه الحال بالنسبة للمرحلة الأولية من الإشعاعية. فقط بعض البؤر

الصغيرة من المهتمين حول بيير وماري كوري في باريس، ورازيرفورد في كندا، قليل من الباحثين اهتموا بالظاهرة، بسبب، ربما، عدم إدراكهم الأهمية والقيمة. قليلون ساهموا في ذلك. فقبل المساهمة في الملحمة يجب الاقتناع بها.

بالمقابل، ففي مرحلة الأشعة المهبطية وتجاربها المرتبطة بها، تدخَّل عدد هائل من العقول اللامعة. القائمة لم تحفظ إلا بعضاً منهم: ولسون، سترو، تاونسيند، باركلا، ريكاردسون، آستون، مورو، إهرنهافت. بعض الأسماء ستذكر لاحقاً وآخرون سيسقطون في النسيان. آخرون ـــ وهم ليسوا قليلين ـــ خُدعوا، فتم نسيانهم وآخرون تركوا أثراً.

أحياناً، تصبح بعض المراكز أماكن إغناء وتخصيب يأمها طلاب لامعون للتخصص، وسيعرفون، جميعهم، ساعات من المجد. هذه كانت حال المراكز التي أدارها بالتتالي رازيرفورد (متابعاً مجده الصاعد)، في ماك جيل، مانشستر، ثم لاحقاً كامبردج. طلابه، الذين يزدادون يوماً بعد يوم، أسماؤهم هي: أوتوهاهن، فريدريك سودي، هانس غايغر، ماردن، جورج دو هيفيسي، موسلي، شادويك، بلاكيت، كروكروفت، دالتون، أوليغانت، غولدهابر، كلُّها أسماء كبيرة في الفيزياء.

يجب إذاً أن تنسب، دوماً، التقييمات الفردية إلى جدارة هؤلاء أو أولئك. «العبقرية هي صبر طويل» على حد قول أنشتاين، ويمكن أن نضيف: «غالباً جماعي، وأحياناً وجداني»، لأن العلوم تصنع بتضافر مرموقين متنوعين جداً، ففي العلوم لا يوجد فقط عباقرة التطبيق أو النظرية ولكن أيضاً مولدو الأفكار، قادة الفرق، العلميون الذين يتميزون بقدرتهم على الحسم، بفعل حماسهم، وشخصيتهم، وغناهم العقلي، في فترة من الفترات. وهناك علميون يعرفون طرح الأسئلة الجيدة، وآخرون يعرفون

إيجاد الأجوبة الجيدة، وبعضهم الآخر يجيدون الأسئلة وأجوبتها معاً. الزمن يصفي كل هذا ولا يحفظ إلا بعض الوجوه، تلك التي ستدخل سجل التاريخ: "الأبطال" ولكنَّ ذلك ليس عدلاً بدون شك ولكنَّ هكذا هو واقع الأمر.

رازيرفورد كان من هؤلاء الأبطال في الفيزياء التجريبية، أما ما يتعلق بالنظرية الذرية فبدون شك كان هناك نيل بوهر، البطل المؤسس للمرحلة اللاحقة ولكن النظرية هذه المرة.

الضوء ينير الذرة

بينما كان رايزرفورد يجري تجاربه الخارقة في مانشستر، كان هناك شاب دانماركي لامع جداً في كوبنهاغن، تقريباً لاعب كرة قدم ممتاز مثلما هو فيزيائي*، لذلك كان يشتغل في قضية ظاهرياً مختلفة جداً: اهتم بالطريقة التي تستطيع فيها الإلكترونات نقل الكهرباء في الأجسام الصلبة. فبعد اكتشافه للإلكترون، صاغ تومسون نظرية الأجسام الصلبة وخصائصها الكهربائية، ولكنها لم تكن لتسمح تماماً بتفسير القياسات التجريبية. من جانبه بوهر كان قد أعد نظرية جديدة معتقداً أنها الأفضل. كانت هي أطروحة الدكتوراه التي حضّرها. في عام 1911 قرر بوهر الذهاب إلى إنكلترا للقاء تومسون ومواجهة أفكارهما معاً. وهكذا حطَّ الرحال في كامبردج التي واجهته فيها خيبة أمل، إذ أن تومسون، الذي كان مديراً لمخبر كافونديش، لم يكن ليهتم بعدُ بالناقلية الكهربائية في الأجسام الصلبة. مصادفة ولحسن الحظ، التقى بوهر خلال إقامته رازيرفورد، الذي كان قدم إلى كامبردج لإلقاء محاضرة. مباشرة نشأ تعاطف وود متبادل بين الرجلين، بين ملك التجارب، وذاك الذي سيصبح أمير النظريات. رايزرفورد دعا بوهر

---

* اختير أخوه في الفريق الأولمبي للدانمارك، وأوشك هو أن يختار كذلك.

للمجيء إلى مانشستر ليعمل معه لتحسين نموذجه الذري. هذا اللقاء حول كأس شاي، كما كان يحدث قبل كل محاضرة في كل أنحاء العالَم أو تقريباً، كان حاسماً بالنسبة للفيزياء العصرية.

تعرف بوهر في مانشستر على نموذج رازيرفورد حول الذرة، الذي كان قد أعده بعد اكتشافه للنواة. يجب إذاً تعزيزه بصياغة نظرية. وهكذا انكب بوهر على العمل. كان لدى بوهر ورازيرفورد فكرة لطرح نوع من النموذج الكواكبي المصغر، بوجود نواة، الشمس، في المركز والإلكترونات ـ الكواكب التي تدور حولها، وتحديد آلية عمله بدقة، اعتماداً على قوانين الفيزياء. إذا كانت الإلكترونات تدور حول النواة، كما الكواكب تدور حول الشمس، فإن قوى الجذب ليست هنا الجاذبية الأرضية، وإنما قوة الجذب الكهربائي. بما أن الجاذبية الأرضية هي قوة تؤثر عن بُعد، إذاً هي خفية*. إذاً هي كالجاذبية الأرضية تخضع لقانون تبعاً لمقلوب مربع المسافة. المقارنة مثالية. الكواكب والفضاء عالَم نيوتن، الذرة هي عالَم ماكسويل ـ أو بالأحرى تركيب من الاثنين معاً، لأن قوانين الميكانيك ما تزال قابلة للتطبيق.

يمكن أن نتصور الحافز الذي سيطر على الرجلين، عندما باشرا استكشاف هذه الفكرة، إذ أنهما سيحققان أكبر اتحاد في العالَم، بين فضاء وحيز لامتناهٍ في الصغر**، يفسران معاً في الوقت نفسه. ولكن يا للأسف يتأكد لهما سريعاً أنه يوجد اختلاف أساسي بين الإلكترون والكواكب: الإلكترون مشحون كهربائياً. مادامت الحالة هكذا فإن شحنته التي تنتقل، هي تيار كهربائي. هذا التيار يصدر موجات كهرامغناطيسية، موجات (راديوية)

---

* بالرغم من التفسيرات التي قدمها ماكسويل.

** المقصود هو الذرة.

المترجم

توقعها ماكسويل، واكتشفها هرتز، والموجات (الراديوية) هذه تستهلك طاقة. الإلكترون الدوار سوف يخسر باطراد من الطاقة. أضف إلى ذلك إنّ القوة الكهربائية أكبر بكثير من قوة الجاذبية. وهكذا فإن العلاقة بين القوة الكهربائية وقوة الجاذبية في ذرة هيدروجين حيث، يدور إلكترون حول بروتون هي 2.3×10^{39}! باختصار القوة الكهربائية خارقة.

التوازن بين سرعة الدوران وجذب النواة سيتوقف. سيقطع الإلكترون مداراً حلزونياً لكي يقع أخيراً على النواة. ضج الأمر... وبدا أن كل شيء ينهار... والحلم يتبخر.

هنا يحقق نييلز بوهر للفيزياء لمسة عبقرية بجرأة خارقة، أكد بالواقع **أن القوانين التي تحكم فيزياء الذرة ليست هي القوانين العادية للفيزياء، ولكنها قوانين خاصة صالحة فقط لما هو لا متناه في الصغر**. إنها، بدون شك لفتة من الدهاء الحاسمة. كان واضحاً أنه لا يمكن التوصل إلى فهم كل هذه الظواهر التي كانت تتراكم (أشعة X، إلكترونات، نوى، إشعاعية، ازدواجية موجية ــ جسيمات)، وأنه كان لابد من الخروج من الفيزياء التقليدية وصياغة فيزياء جديدة. ولكن من كان يجرؤ على ذلك؟ تجرأ على ذلك الشاب نييلر بوهر ونشر ثلاث مقالات في عام 1913. ربط بوهر بين حركة الذرات وعمل بلانك حول إشعاعات الجسم العاتم، حيث قبل بلانك أن الطاقة على المقياس الميكروسكوبي تتوزع إلى "حبيبات طاقوية"، وكوانتا، إنه عملٌ كان قد استثمره أنشتاين لتفسير الأثر الفوتوكهربائي.

طوَّر بوهر، اعتباراً من ذلك، نظرية جديدة. استخدم بالطبع قوانين الفيزياء العادية، ولكن طبق عليها بعض الاشتراطات الجديدة (انظر شكل 9، ملون). كما يُرى، فإن الإلكترونات تنتقل على مدارات (البعد عن النواة، الإهليلجية، الطاقة الكامنة)، من خصائصها أنها لا يمكن أن تكون إلا من مضاعفات الأعداد 1، 2، 3... إلخ. يقال أن المدارات "كمومية

quantifiées". على هذه المدارات لا تصدر الإلكترونات موجات كهرامغناطيسية. بفضل ظاهرة خاصة الاستعمال الخفية بعض الشيء، فإن الطاقة المستهلكة تعيد الإلكترونات امتصاصها. الطاقة لا تُستهلك إلا عندما ينتقل الإلكترون من مدار إلى مدار آخر مستقر، في هذه الحالة، وفقط في هذه الحالة تصدر إشعاعات من الضوء. هذا هو أصل الضوء، الذي يفتش عنه منذ زمن طويل، ولكن بوهر ذهب أبعد من ذلك.

هذا الضوء له طول موجة (للملون)، بقيمة محددة تابعة للفرق بين طاقـــة حدَّي الانتقال. الثابت الذي يربط هاتين القيمتين هو الذي حدده بلانك في إشعاعات الجسم العاتم. كوانتا ــ ضوء، هاتان فكرتان تتميَّز إحداهما عن الأخرى ــ سيجملهما بوهر معاً. جاءت فكرة تقييس المدارات من دراسة بلانك لانبعاث الضوء من الأجسام المسخنة. إن دراسة الضوء سوف، بالعودة، تؤكد صحة أفكار نييلز بوهر. وكانت دراسة الأطياف الضوئية، أي أطياف الضوء المحلل بالموشور، قد أحرزت تقدماً كبيراً بفضل إدخال جهاز جديد لتشتيت الألوان: الشبك*، أكبر فعالية بكثير من الموشور.

أمكن، بفضل هذا الجهاز، تحليل أطياف من العناصر الكيميائية المختلفة، حيث أمكن اكتشاف، لكل عنصر كيميائي، تتابعات لأشعة أكثر دقة وعدداً من تلك التي كان درسها قديماً كيرشوف. هذه التتابعات كانت قد لاحظها أستاذ، من المدرسة السويسرية، اسمه بالمر، وهو الذي أوضح أن الفاصل بين هذه وتلك يخضع لقوانين رياضة بسيطة، قريبة من السلاسل الهندسية. الإنجاز المحقق هو أن بوهر قد نجح، باستعمال نموذجه، في حساب الموقع الصحيح لتهدبات هذه الأطياف الضوئية. إن سقوط إلكترون

---

* المقصود بذلك جسيمات صغيرة أخدودية، متوضعة بجانب بعضها بعضاً وتحلل الضوء كما يفعل الموشور ولكن بدقة أكثر.

من مدار عالٍ نحو مدار منخفض (أي ذي طاقة أضعف، إذاً أكثر استقراراً) يتوافق مع **انبعاث** للضوء. المرور بالاتجاه المعاكس. أي قفز إلكترون من مدار ذي طاقة منخفضة إلى آخر طاقته أعلى، يتطلب طاقة. يحصل على هذه الطاقة **بامتصاص** الضوء (شكل 10، ملون).

بموجب علاقة بلانك w = hυ، حيث أن w هي الفرق الطاقوي، λ طول موجة الضوء، υ مقلوب التواتر، c سرعة الضوء، h ثابت بلانك، يمكن حساب الطيف الضوئي. قواعد بالمر المنظمة تم تفسيرها، وكذلك المدارات التي تكون طاقاتها محددة وموزعة في "مستويات طاقوية" كما أشرنا من قبل إلى ذلك.

لكن بوهر ذهب إلى أبعد من ذلك في تفسيره. فقد كان أحد الفيزيائيين الهولنديين، واسمه زيمان، قد أوضح تأثير الحقل المغناطيسي على الأطياف المنبعثة من الصوديوم. فيزيائي ألماني آخر، اسمه ستارك، بيَّن من جهته أن الظاهرة كانت تتعقد أيضاً عند خلق حقل كهربائي حول شعلة البث. فسَّر بوهر هذه الظواهر بالتذكر بأن الإلكترون الذي يدور حول مداره يخلق تياراً، إذاً حقلاً مغناطيسسياً. إذا جعلنا حقلاً كهربائياً أو مغناطيسياً يؤثر على هذه الجملة، فإننا نغير مقياس مستويات الطاقة. التوافق بين الحساب والقياسات، بين النظرية والتجريب، تام جداً بحيث أن بوهر أقنع الفيزيائيين سريعاً بقيمة نموذجه. لكنهم نسوا، مع ذلك، ما يتعلق بها من نظريات مغايرة كان يتم تناقلها.

مفتاح كل ذلك يكمن بالتأكيد في الترابط الكائن بين الذرة والضـــوء. فعند الإضاءة تنتقل الطاقة إلى الذرة، طاقة حرارية (شمعة)، طاقة كهربائية (مصباح إضاءة). هذه الطاقة تجعل إلكترونات الذرات تنتقل إلى مـــدارات مثارة. ثم تنتقل هذه الإلكترونات إلى مستويات طاقوية أدنى مصدرة طاقـــة

بشكل موجات كهرامغناطيسية وخاصة ضوءاً مرئياً. تبعاً للفرق بين مستويات الطاقة الذرية، فإن الألوان تكون مختلفة. النار، في أعقاب تفاعل كيميائي ناشر للحرارة (أكسدة مثلاً)، تجعل درجة الحرارة ترتفع، والذرات تكون هائجة جداً، والإلكترونات أيضاً، فتقفز هذه الأخيرة من مستويات طاقوية إلى أخرى، متبادلة الضوء ومصدرة الكثير منه باللون الأحمر.

الطاقة المتدرجة

أكد بوهر أيضاً أنه على مستوى الذرة، فإن الطاقة توزع بمقياس على مستويات محددة بدقة (كدرجات السلم). بين هذه المستويات لا تخزن الذرة أية طاقة. في عام 1914 جيمس فرانك وكوستاف هرتز (ليس هو نفسه)، سوف يقدمان برهاناً مباشراً لدعم هذه الفكرة بفضل تجربة جديدة*. يوضع في أنبوب مغلق مفرغ، من جهة سلك تسخين يصدر إلكترونات، وفي الطرف الآخر شبك موضوع تحت كمون موجب (إذاً يجذب الإلكترونات). خلف الشبك توجد صفيحة موصولة مع جهاز لقياس التيار. عندما نسخن السلك نتلقى تياراً في الصفيحة، كما في أنبوب تومسون. في هذه الأثناء أدخل المجربون في المصباح بخار الزئبق فاستمر التيار نفسه في الصفيحة ثم زادوا فرق الكمون بين السلك والشبك، وعندما وصل هذا الفرق إلى 4.9 فولتات، فإن التيار الكهربائي اختفى. إذاً الزئبق يمتص كامل طاقة الإلكترونات. إذا استمررنا إلى أعلى من 4.9 فولتات، فإن التيار يبدأ من جديد بالازدياد.

يبين ذلك جيداً أن التداخل بين الإلكترونات وذرات الزئبق لا ينشط إلا من أجل طاقة محددة. إن ذلك هو الدليل على أن طاقة ذرة موزعة مثل

---

* انظر ميشال ريفال، التجارب العلمية الكبيرة، باريس، سوي، 1996.

درجات السلم، دون مستوى متوسط. إذاً طاقة الذرات هنا أيضاً يمكن قياسها، مثل إصدار الجسم العاتم لبلانك. ولكن، بالطبع، لكل ذرة مقياسها، درجاتها، مسافاتها البينية الخاصة بها، وهذا هو السبب الذي يفسر: لماذا تمثل الأطياف الضوئية للذرات بشارات مميزة لكل منها؟.

العودة إلى الكيمياء

الفائدة الأخرى الكبيرة لذرة بوهر، هي أنها تسمح بتفسير تصنيف العناصر الكيميائية. فقد صنَّف الكيميائي ديمتري مندلييف العناصر الكيميائية في عام 1858، في جدول دوري تبعاً لتعقيدها المتصاعد. قام هذا التصنيف على ملاحظات الفيزيائيين والكيميائيين لمختلف العناصر الكيميائية التي تم تمييزها. إنَّه معروف أيضاً، منذ نهاية القرن التاسع عشر أن كل عنصر كيميائي مميز بذرته، التي تحدد طبيعتها خصائصه. وكانت هذه فكرة ديموقراط التي استكشفناها في الفصل الأول، ولكن بوهر أعطى تجسيداً مادياً لهذا الحدس الإدراكي.

ما يميز عنصراً كيميائياً هو عدد الإلكترونات التي تمتلكها ذرته [Z]. وهكذا فإن ذرة الهيدروجين لها عدد إلكترونات Z=1. ذرة الهليوم إلكترونان، Z=2، ذرة الليتيوم ثلاثة إلكترونات Z=3... إلخ. نظم بوهر هذه الإلكترونات محدداً حول النوى نوعاً من المدارات الدائرية التي تدور عليها. تخضع أنصاف أقطار هذه المدارات إلى القوانين الكوانتية، إذاً إلى أرقام (η) كاملة محددة: η=1، η=2، η=3... على كل مدار حدد بوهر عدد الإلكترونات التي يمكنها الدوران. فمن أجل η=1، يوجد إلكترونان، ومن أجل η=2، يوجد ثماني إلكترونات، ومن أجل η=3، يوجد ثماني عشر إلكتروناً. كل ذرة مكونة من انضمامات معقدة من هذه المدارات. دون الدخول في التفاصيل، فقد شرح التصنيف الدوري للعناصر الكيميائية، التي

وضعها مندلييف على أساس تجريبي. ثم بيَّن طالب أوسترالي شاب من طلاب رايزرفورد، هنري موسلي، الذي قتل في حملات الدردانيل، بفضل دراسة أطياف أشعة X المنبعثة من كل عنصر كيميائي، أن هذه الأشعة تبدي انتظامية تسمح بتحديد العدد [Z]، كما وضح، من جهة أخرى، أن بعض العناصر قد صنَّفها مندلييف بشكل سيِّئ وقام بتصحيح الخطأ.

بما أن بوهر قد أكد على قواعد تحديد المدرارات التي تدور عليها الإلكترونات، فإن موسلي استطاع المضي قدماً، ووضع بنية دقيقة لذرات كل عنصر كيميائي، أي المسافات الفاصلة بين المدارات وطاقاتها التي تحملها. استطاع أن يدقق مدى واقعية هذه البنية بقياس الأطياف الضوئية الممتصة والمنبعثة للعناصر الكيميائية، واحداً تلو الآخر. تبين له أن الحساب النظري والقياس التجريبي يتطابقان ضمن هامش صغير من الخطأ. هذا خارق، لم تعد النظرية هي التي تفسر التجربة، وإنما التجربة هي التي تؤكد النظرية، فبدت التجربة هكذا قادرة على التكهن والتنبؤ.

هكذا، إذاً، حقق بوهر الترابط الكائن بين **الضوء** و**الكيمياء**، بين بنيات الذرات وأطيافها. وهذا ما أوجد، بالعودة، طرقاً لدراسة الذرات وبنياتها اعتباراً من ملاحظة ما تكونه الأطياف الضوئية. وهكذا عرفت الكيمياء الطيفية (أي دراسة الأطياف الضوئية)، ما هو إذاً ثنائي جديد سيتأكد أنه خصب جداً. الكيمياء العصرية تدرس ذراتها وجزيئاتها بمساعدة دراسة الأطياف. الطرق تختلف، ولكن المبدأ الأساسي يبقى نفسه.

ذرات وجزيئات

واجه بوهر، في ثلاثيته الشهيرة عام 1913، أيضاً الحالة التي يتكون فيها التجمع، ليس فقط من نواة واحدة، وإنما من عدة نوى، أي لا حالة ذرة وإنما جزيئة. لذلك درس حركة الإلكترونات كمدار حول نواتين واعتبر أن الارتباط بين النواتين، بين الذرتين، يتولد بفعل هذه المشاركة بين الإلكترونات.

أمور كثيرة قد يلفها النسيان، ولكن هذه المقالة هي المساهمة الأولى فيما يتعلق بمادة الكيمياء النظرية. حدد بوهر، هنا أيضاً، مستويات طاقوية جزيئية، وأعلن أن الجزيئات يمكن أن تدرس انطلاقاً من طيفها، إنها مقالة تنبؤية، ولكنها لم تأخذ كامل قيمتها إلا بعد ظهور وتطور الميكانيك الكوانتي، أي بعد عام 1930.

نحو الميكانيك الكوانتي

كما هو معروف، فإن أفكار بوهر سوف تنتشر وتتوسع وتتضخم ثم ترتد بتقدم ظهور ميكانيك جديد، **الميكانيك الكوانتي**، الذي اشتق منها مباشرة. بفضل هذه الثورة الإدراكية، ثورة المفاهيم، سيصار إلى التخلي عن كل الوصف الحتمي للواقع، واستبداله بوصف يعبر عنه بالاحتمالات. وهكذا سوف يتم التأكد من أنه لا يمكن في الوقت نفسه معرفة موقع وسرعة جزيئة، كما سيبين أيضاً أن كل قياس يشوش الظاهرة التي يدرسها، وهذا جوهر مبدأ اللاموثوقية Incertitude لهيزنبرغ.

باختصار، مع الميكانيك الكوانتي، ندخل عالماً جديداً آسراً خفياً وغريباً تم اكتشافه على أسس رياضية صلبة حوالي السنوات 1925 ــ 1930، بتحريض من علماء صارت أسماؤهم أعلاماً شهيرة، مثل النمساوي إيروين شرودينجر، الألماني ويرنر هيزنبرغ، السويسري الألماني وولفغونغ بولي، الإنكليزي من كامبردج بول ديراك، وجميعهم بتشجيع وتحريض مستمرين من قِبل نييلز بوهر ــ وذلك كله بالرغم من شكوك ألبرت أنشتاين*. ولكن هذه قصة أخرى، ملحمة بحد ذاتها.

---

* كان أنشتاين قد لاحظ قبل الجميع انعكاسات الميكانيك الكوانتي، ولكن لأسباب فلسفية وعقائدية (لاهوتية) تقريباً، لم يكن ليستطيع أن يوقع اسمه. إنه القول الشهير: «الله لا يلعب بالزهر».

مستويات الطاقة

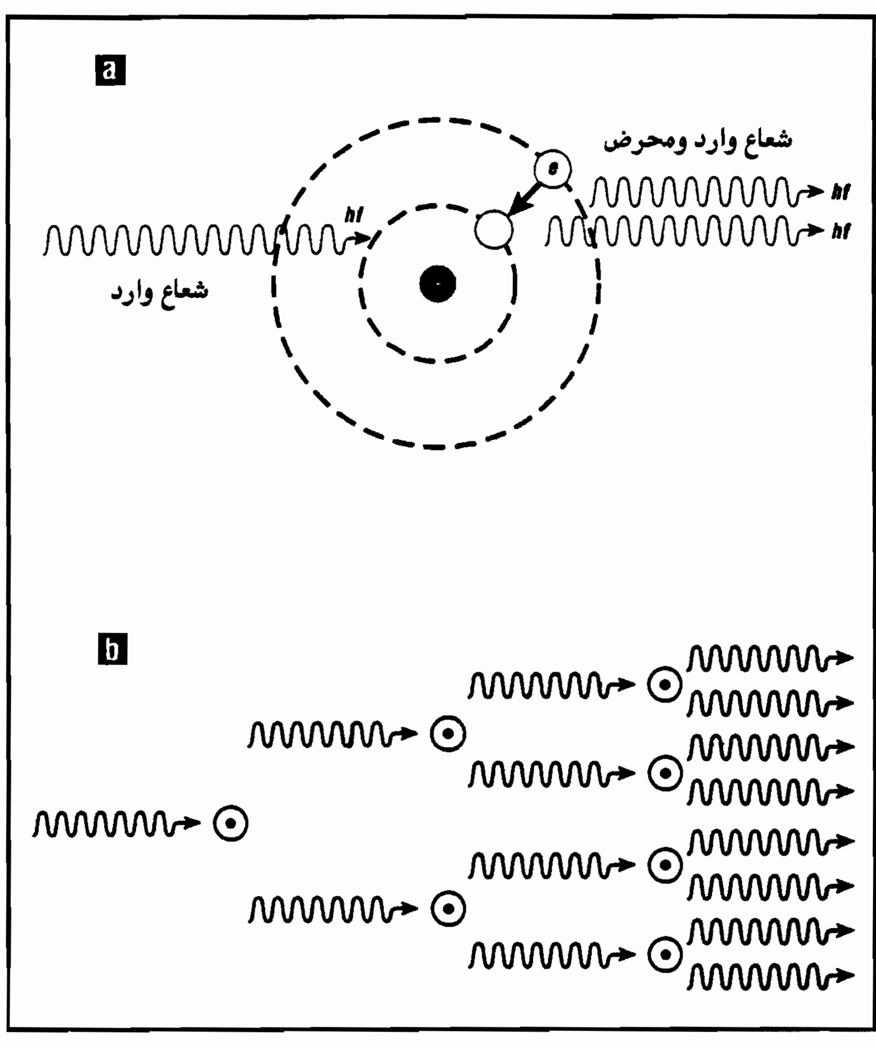
إذاً، لنعُد قليلاً إلى الوراء: لكل ذرة، ولكل جزيئة، مستويات طاقوية تستطيع الإلكترونات أن "تتوضع" عليها. تخضع هذه المستويات إلى الكوانتا، فهي إذاً، كما أسلفنا من قبل، درجات سلم منفصلة عن بعضها بمسافات بينية فارغة. والإلكترونات لا تستطيع التواجد إلا في هذه المستويات، كما أن أقدامنا لا تستطيع أن تتوضع إلا على درجات السلم. بالطبع، هذا هو تمثيل الذرة بعبارات طاقوية، بعبارات فضائية، فالإلكترون يتزعزع دون توقف، ويدور حول النواة ولكن في مدار مفروض عليه من مستويات الطاقة المسموحة.

مستويات الطاقة هذه لا تستطيع حمل أكثر من عدد محدد من الإلكترونات. مثلاً مستوى الطاقة الأول لذرة، أول درجة، لا تحمل إلا إلكترونين، المستوى الثاني مضاعف مرتين، يحمل إجمالياً ثمانية إلكترونات (2 + 6)... إلخ. كيف يمكن لإلكترون أن يتوضع على هذا السلم؟ إنه يملأ الدرجات مبتدئاً بالأسفل، تبعاً **لمبدأ الطاقة الدنيا**، الأقرب فالأقرب. لكل ذرة مستقرة، إذاً، مستويات طاقة مملوءة. المستوى الأخير يكون غير تام بعض الشيء. ولكن يوجد فوق آخر مستوى مملوء، مستويات أخرى (درجات أخرى من السلم) فارغة كلياً. تسمى هذه المستويات "محرضة". أيمكن لإلكترون مستوى طاقة يشغله بشكل عادي (نسميه المستوى المستقر) أن يغادره للانتقال إلى مستوىً محرض؟ بالطبع نعم. من أجل ذلك يجب مده بالطاقة الكافية لكي يستطيع القفز من مستوىً إلى آخر. ولكن يجب الانتباه إلى أن الطاقة التي سوف نمررها له، يجب أن تكون هي **تماماً** الطاقة الموافقة للفرق الطاقوي بين المستويين، وهذا ما نسميه كوانتوم الطاقة المفيد. ولكن هل هذه الإلكترونات المحرضة الواقعة على مدارات حرة

ستبقى عليها؟ الجواب نعم، ولكن ليس بقاؤها لوقت طويل، لأن مستويات التحريض ليست هي المستويات المستقرة للإلكترونات. فهذه الأخيرة إذاً ستحاول أن تستقر على مستويات طاقة قابلة للسكن (بيت، بيت جميل)، وإذاً سنعود إلى سكن هادئ من جديد. عندما يقومون بذلك يجب أن تكون الطاقة محفوظة. سقوط إلكترون من مستوىً عالٍ إلى آخر أدنى، سيترافق بتحرير طاقة، مثلاً بإصدار ضوء طول موجته (اللون) سيكون مساوياً تماماً لطول موجة الضوء الذي حرض الذرة.

الـــلازر

صارت كلمة لازر اسماً مألوفاً في مفرداتنا. إنها بالواقع اختصار يعني: تضخيماً ضوئياً بواسطة الإصدار التحريضي للإشعاع. تستند هذه التقنية على استخدام ماهر لعلاقات الضوء ــ المادة، كما كنا قد فصلناها. لنفترض أن إلكتروناً يقع على مستوى طاقة محرض، فهو إذاً في وضع غير مستقر وجاهز للوقوع تلقائياً نحو مستوى طاقة أدنى أكثر استقراراً. لنضئ إذاً الذرة بضوء طول موجته، أي طاقته، هو تماماً الموافق لفرق الطاقة بين المستوى المحرض والمستوى المستقر. يعطي هذا الضوء للإلكترون المحرض تحريضاً صغيراً، اللكمةَ اللازمةَ لكي يجعله يقع من جديد في مستوى طاقته المستقر. الطاقة الضرورية لإعطاء الإلكترون هذه اللكمة ضعيفة جداً، بحيث أن الضوء الساقط لا يتأثر بها. هذا هو الإصدار المحرض (الذي توقعه أنشتاين منذ عشرين سنة قبل اكتشافه). ولكن بوقوعه على مستوىً طاقوي أدنى، فإن الإلكترون سوف يصدر هو أيضاً الضوء، المميز بالخصائص نفسها، بالأطوال نفسها للموجة، كالشعاع الساقط (انظر شكل 3.8). إذا كان لدينا شعاع ضوئي يضيء الذرة، يخرج شعاع أشد بمرتين. هكذا إذاً نكون قد ضخمنا الضوء.



شكل 3.8

a) مبدأ الإصدار التحريضي.

b) والإصدار التحريضي المتدرج، أي اللازر.

لنفترض الآن أننا لا نضيء ذرة، ولكن سلسلة من الذرات المحرضة التي في جميعها تكون الإلكترونات منها جميعاً، موجودة في مستويات طاقة عالية. في هذه الحالة فإن الظاهرة سوف تتكرر، كل ذرة سوف تصدر ضوءها في الوقت نفسه. انطلاقاً من كمية صغيرة من الضوء في الدخول،

سوف نحقق كمية كبيرة من الضوء عند الخروج. كل هذه الأضواء التي لها الخصائص نفسها، سوف تهتز بالطور نفسه، وكلها موجهة في الاتجاه نفسه. هذا هو اللازر: شعاع ضوئي متجانس، شديد وموجه.

غير أنه لتحقيق ذلك لابد من شرط أولي، مرور إجباري: يجب توفر المقدرة لإمرار إلكتروناتِ كميةٍ كبيرةٍ من الذرات المتواجدة على مستويات محرضة والإبقاء عليها إلى لحظة إنارتها. وهذا أمر صعب لأن الإلكترون الموجود على مستوى طاقة عالٍ يميل لأن يسقط من جديد تلقائياً وسريعاً على مستويات الطاقة الأدنى. للوصول إلى ذلك لابد من استخدام التقنية المسماة الضخ الضوئي الذي اكتشفه ألفريد كاستلر في مخبر دار المعلمين العليا.

تضاء في المرة الأولى الإلكترونات لإعطائها طاقة أعلى من المستوى الذي يراد إرسالها إليه. (إذاً بضوء ملائم). ستقفز هذه الإلكترونات أعلى من المستوى قليلاً، ثم تقع من جديد آنياً على مستوى الطاقة المرغوب وتبقى طويلاً حتى نستطيع إضاءتها بضوء آخر وهكذا للحصول على التضخيم التحريضي. الواقع أنَّ الأمريكي شارلي تاونس اخترع اللازر، بعد إقامة صيفية في مخبر كاستلر لتعلم تنفيذ الضخ الضوئي. عندما استلم تاونس جائزة نوبل، كان راقياً لدرجة أنه قال: لولا أعمال كاستلر لم أكن لأستطيع إنجاز اكتشاف اللازر. ثم مُنح كاستلر جائزة نوبل بعد سنين من ذلك.

ﻫ

9

كل شـــيء نسبي

كررت عدة مرات في هذا الكتاب أن الفيزياء، ليست الإحساس السليم العادي*، إنها على العكس، كَمٌّ من العقائد والمفاهيم المصاغة خلال الوقت، بصبر وتأنٍ، لا بحدسية، وتقتضي نوعاً من التدرب والاحتراف. ولكن بالمقابل، فإن معرفة الفيزياء كانت تسمح، بتوقع تفسير العالم الذي يحيط بنا ضمن إطار مترابط يسمح لنا، أكثر فأكثر، بالتنبؤ وابتكار أجهزة أو تقنيات.

تعطي النظرية النسبية الموجزة، التي اقترحها أنشتاين في عام 1950، تمثيلاً تاماً لهذا المفهوم. التأكيد بأن الوقت هو مفهوم نسبي، وأن النظر إلى حدثين على أنهما متزامنان، يتوقف على المكان الذي نراقبهما منه، وأن الكتلة والطاقة يمكن أن تتحولا من إحداهما إلى الأخرى، وأن سرعة الضوء هي السرعة الأكبر التي يمكن أن توجد في الكون، كلها مفاهيم يرفضها الحس المألوف ومع ذلك فإنها تتكون بشكل دقيق، لا بشعوذات رياضية عوالمية، ولكن ببراهين محكمة، حصيلة ملاحظات دقيقة، أقترح على نفسي هنا أن أوضح منها الجوهر، وهو الأمر الأكثر أهمية من التجربة "الإطار". إنه يحرض ثم يتحقق إذا ما أردنا. إنها لقضية

---

* فيزياء أرسطو كانت الإحساس السليم، ولذلك تبين أنها كانت خاطئة.

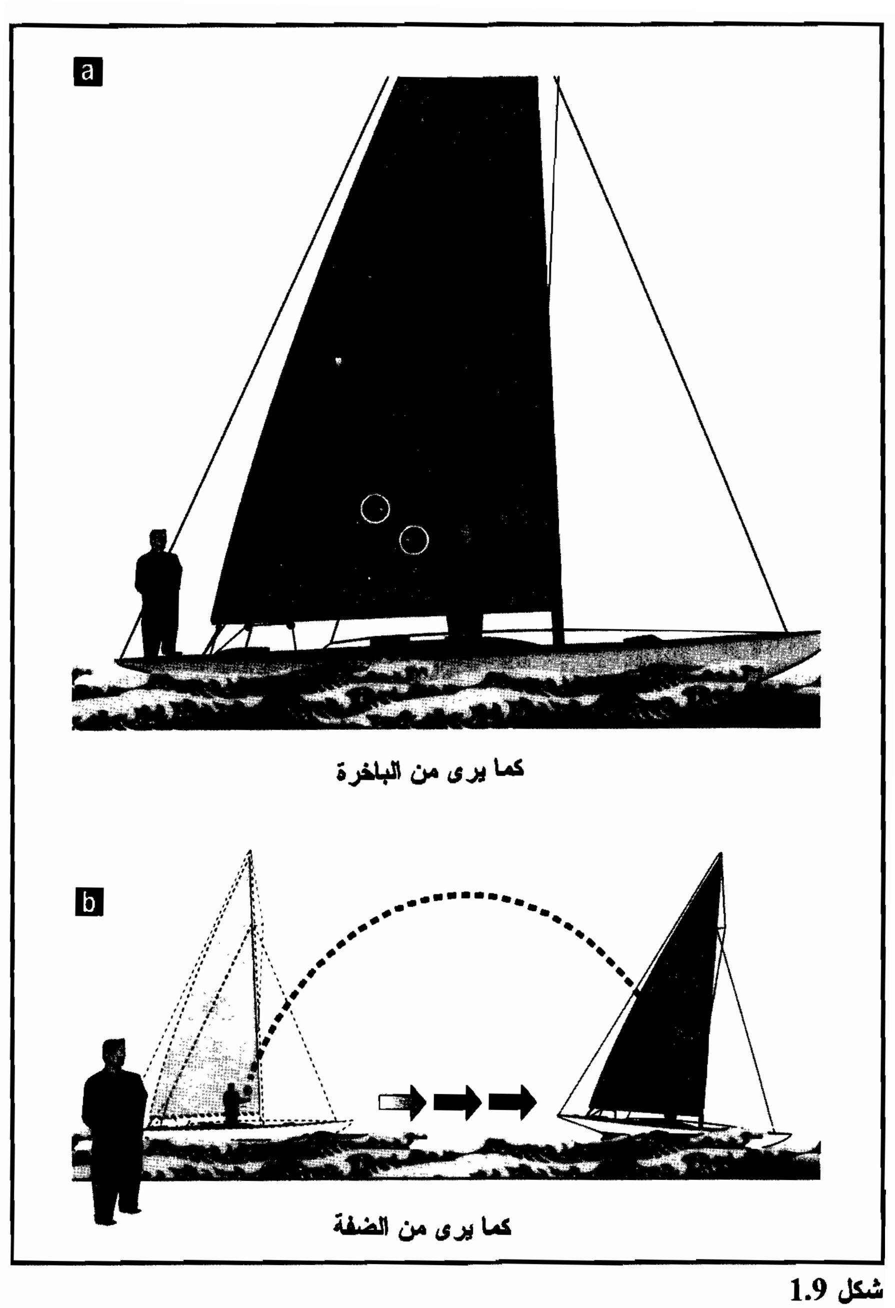
صعبة، عندما يتعلق الأمر بالنسبية، التي ترددت طويلاً في التطرق إليها، ولكنها بدت لي ضرورية جداً.

غاليلي السبّاق

تتجذر نظرية النسبية عند غاليلي (أيضاً هو!). تتكرر تجربة الإنسان الموجود على ظهر سفينة تتقدم بسرعة لا بأس بها، ويرمي في الهواء، عمودياً، كرة فأين تقع هذه الكرة؟ البعض، في زمن غاليلي، كانوا يعتقدون، وقد قلت ذلك، أنه حسب مبدأ السكونية، فإن الكرة تكون مستقلة عن السفينة. وعليه، إذا كانت السفينة سريعة جداً، فإن الكرة ستقع في البحر. رد غاليلي على ذلك (بعد جيوردانو برينو): «لا، أبداً، الكرة ستقع عند أقدام الرامي في السفينة»، وقد كان معه الحق. لماذا ذلك؟ (انظر الشكل 1.9). لأن الكرة، ككل ما يوجد على السفينة، لها سرعة السفينة، وتعود **مرجعيتها** إلى السفينة، وعندما ترمى في الهواء، فإن مسارها يكون عمودياً لكل راكب على السفينة. ولكن مراقباً موجوداً على الضفة سيرى مسار الكرة يرسم قطعاً مكافئاً.

نجد هنا عنصراً أساسياً من نظرية النسبية: شكل مسار الكرة يتوقف على المكان الذي نراه منه. هذا المبدأ الذي صاغه غاليلي بوضوح، ولاسيما في الحوار الشهير*، كان صعب الفهم والقبول من معاصريه. هؤلاء عارضوا مثلاً فكرة دوران الأرض قائلين: إذا كانت الأرض تدور، فعندما ترخى رصاصة بندقية من أعلى برج بيزا، فإنها يجب أن تقع بعيداً نحو الغرب، باعتبار أن الأرض خلال المسار تكون قد انتقلت. الواقع أنها تقع بجانب قاعدة البرج، وهذا هو البرهان على أن الأرض ساكنة. ولكن هذا البرهان لم يزعج غاليلي، فهاهو يتابع محاكمته ويؤكد أنه "ليس هناك من علام مطلق، وكل حركة تتم بالنسبة لمرجع مختار".

* تم ذكره من قبل.



شكل 1.9

ترمى كرة نحو سارية السفينة، أي عمودياً للأعلى:

a) مسار الكرة كما يرى من السفينة.

b) كما يرى من الضفة، في حين أن السفينة تنتقل.

عندما نطلق قذيفة نحو السماء فإن الحس المألوف يقول لنا أن القذيفة هي التي تنتقل وأن الأرض التي انطلقت منها القذيفة هي الثابتة، لأننا نكون نحن أنفسنا في هذه اللحظة غير متحركين بالنسبة للأرض، التي نصنع معها، بشكل ما، جسماً واحداً. ولكن غاليلي يخبرنا أنه قد يكون بالإمكان اعتبار القذيفة مرجعاً ثابتاً، وأن الأرض بالتالي، هي التي ستنتقل*. من سخرية التاريخ أن غاليلي نفسه سيكون ضحية مبدئه، فأعداء نظرية مركزية الشمس Héliocentrique، التي تضع الأرض في مركز الكون، لم يتوصلوا بموجب ذلك إلى حساب مسارات الكواكب، الواردة في جداول فلكية، أفضل من تلك التي وضعها كوبرنيك**، لذلك فعلى المستوى العلمي الدقيق، فإن الجدال بين غاليلي والمسيحيين أثناء دعوى 1633، كان ضالاً بما فيه الكفاية، لأن البراهين التي قدمتها معطياتُ الملاحظة لم تكن فاصلة.

أنشتاين، العبقري المطلق

في عام 1950 كان عمر أنشتاين ستة وعشرين عاماً. كان، كما أسلفنا، مستخدماً في مكتب التراخيص في برن، غير معروف من الجميع، وخاصة في مركز غوتا العلمي، حيث نشر مقالاً عرض فيه ما سيسمى النسبية الموجزة. في هذا المقال استند على أفكار غاليلي ولكن دفعها بعيداً، كثيراً كثيراً، أكثر كثيراً. أكد في هذا المقال، منذ ذلك الحين، أننا نوجد في مكان علام ينتقل بسرعة ثابتة، وهو ما أسماه علاماً خاملاً "مستقراً"***،

---

* الواقع أنه بقياسات دقيقة جداً، سيلاحِظ اختلافاً بسيطاً.

** باعتبار أنه لحساب مسار بالنسبة لنقطة مرجعية (هنا الأرض) لا يوجد أبداً ما يمنع فيزيائياً أو رياضياً.

*** العلام الثابت هو الذي لا يتحرك، أي علام مطلق، أما العلام الخامل أو المستقر فهو الذي يتحرك بحركة ثابتة مستقرة غير متسارعة. **المترجم**

ولكن من غير الممكن معرفة ما إذا كان الوسط ثابتاً أو في حركة. كل واحد منا استطاع أن يجرب الإحساس بالنسبية، مثلاً في قطار يتقاطع مع قطار آخر، فأي من القطارين هو في حركة؟ وأي منهما ساكن؟ ولإزالة الغموض يجب أن ننظر خارج جملة القطارين، بتثبيت بيت أو عمود كهربائي.

إذا ما تواجدنا في طائرة تطير بسرعة ثابتة، يمكن لنا أن نتلهى بطابتي تنس كما نفعل على الأرض، نأكل كما على الأرض، التفاحة التي نأكلها لها الطعم نفسه كما على الأرض. بعبارات علمية هذا يعني أن قوانين الفيزياء هي ذاتها في مكان **علام خامل**، لكن ذلك لا يبقى صحيحاً إذا تسارعت الطائرة أو دارت فجأة. يجب أن تتبع حركة متجانسة، فجسم في دوران ليس علاماً خاملاً*. هذا هو المبدأ الأساسي الأول للنسبية الموجزة الذي صاغه أنشتاين.

المبدأ الثاني أصعب بقليل من حيث قبوله، ولكن إذا وثقنا بمحاكمته المنطقية، تاركين الحدس جانباً، فسيكون أبسط. أكد أنشتاين أنه في جميع العلاَّمات الخاملة (جمع علام)، فإن سرعة الضوء هي ثابت عام، وكما يقول إدوارد بريزان، عندما نسير على سجادة دوارة فإننا نتقدم بشكل أسرع. ولكن عندما نرسل حزمة ضوئية من هذه السجادة الدوارة، فإن الضوء لا يصل بشكل أسرع. لَكَم هو ساحر خلاب! أليس كذلك؟

البرهان المركزي

لفهم ما أسلفناه، يجب التذكر بأن الضوء ينتشر في الفراغ **دون حامل مادي**، بسرعة ثابتة في كل الاتجاهات. لنتصور التجربة التالية: طيارتان على الارتفاع نفسه، تسيران في اتجاهين متعاكسين، إحداهما بسرعة تقريباً

---

* من أجل ذلك استطاع فوكو أن يبرهن من فوق الأرض على دوران الأرض.

معدومة، الأخرى بسرعة كبيرة جداً، وفي لحظة تقاطعهما تصدران معاً ومضة ضوئية "فلاش"، ثم تتابعان طريقهما وتبتعد إحداهما عن الأخرى. بما أنه لا يوجد علام ثابت، فإنه يمكن لنا وصف الحركة النسبية لإحداهما أو للأخرى بافتراض أنَّ إحداهما، أو الأخرى، ثابتة. إذا أردنا قياس سرعة الضوء، فسنميل للاعتقاد، أنه في حالة القياس الذي يجري من الطيارة التي تمر بسرعة كبيرة، يجب أن نطرح سرعة الطائرة من سرعة الضوء المقاسة.

الواقع أنّه لا شيء من هذا البتة، لأن الومضة الضوئية أُصدرت من الطائرتين في الوقت نفسه، ولقياس سرعة الضوء في الطائرة التي سرعتها بطيئة لا نحتاج لأي تصحيح أيضاً. الواقع أنَّ كل طائرة لها كرتها الضوئية التي تتوسع مع الوقت، باعتبار أن الضوء موجة تنتشر. يمكن لنا، اختيارياً، أن نقرر أن إحدى الطائرتين غير متحركة، والأخرى متحركة بالنسبة للأولى، ولكنها ليست متحركة بالنسبة لعلام ثابت، باعتبار أنه لا يوجد.

الحالة هنا مختلفة كلياً عن حالة الباخرتين، إحداهما ساكنة والأخرى في حالة حركة، حيث يرمى في لحظة تقاطعهما حجر في الماء. إن سقوط الحجر يولد موجة تنتشر دائرياً انطلاقاً من نقطة الاصطدام. بالطبع، بعد وقت ما، فإن الباخرة الساكنة توجد دوماً في مركز الدوائر، في حين أن الباخرة التي في حركة سريعة، سوف تتجاوز هذه الدوائر. الباخرتان ليستا في الوضع نفسه كما هي حال الطائرتين بالنسبة للضوء. فما هو الفرق؟ الفرق هو أنه في حالة الباخرتين يوجد علام ثابت هو الماء. وهذا يغير كل شيء. بالنسبة لهذا المرجع، توجد باخرة تتحرك وأخرى ساكنة. الموجات نفسها تنتشر بالنسبة للمرجع الذي هو الماء.

مرة أخرى في الفضاء، لا يوجد مرجع ثابت، إذاً لا يوجد علام مطلق نستطيع أن نحدد بالنسبة له ما يتحرك وما هو ساكن. كل شيء نسبي. الحركة في الفضاء هي اتفاق بالنسبة لعلام **نقرر أنه** ثابت **اختيارياً**. ولكن مرة أخرى، النقطة الثابتة المطلقة غير موجودة.

الوقت نسبي

ذكرنا أن مسار كرة مقذوفة عمودياً، من على باخرة، ليس هو نفسه حسبما ننظر إليه من الباخرة أو من الضفة. عندما نجري التجربة، مع إسقاط ضوئي ومرآة في أعلى سارية الباخرة فسيحصل الشيء نفسه.

إن مسار الضوء، كما يُرى من الباخرة، هو ذهاب وإياب عمودي، أما كما يُرى من الضفة فهو مثلث (قاعدته صغيرة جداً باعتبار أن سرعة الباخرة أدنى بكثير من سرعة الضوء).

إذا أردنا قياس المسافات التي يقطعها الضوء، نتأكد أنها ليست دوماً نفسها حسبما نقيسها من الباخرة أو من الضفة. في هذه الحالة الأخيرة ستكون أكبر. وفي الحال هذه، معلوم أن المسافة هي حاصل ضرب السرعة بالزمن، إذاً السرعة هي المسافة مقسومة على الزمن. ومع ذلك فإن السرعة المقاسة من الباخرة، أو من الضفة يجب أن تكون ثابتة. الطريقة الوحيدة للخروج من ذلك هي القبول بأن الوقت المقاس من على الباخرة ليس هو نفسه المقاس من الضفة. **الوقت المقاس من على الباخرة أقصر من الوقت المقاس من الضفة.** الوقت إذاً ليس، كما نعتقد في الحياة اليومية، قيمة مطلقة، ولكنه مفهوم نسبي، يتوقف على العلام الذي نختاره لقياسه. إذا رمزنا لفاصل الزمن المقاس من على الباخرة بالرمز t_o، فيكون الفاصل الزمني المقاس من الضفة، في حالة تجربة الباخرة، محدداً بالعلاقة:

$$t = \frac{t_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

باعتبار V سرعة الباخرة، C سرعة الضوء*. بالطبع فإن الوقت يجري دوماً في الاتجاه نفسه، وليس من المأمول النظر في الماضي، وهذا يعود لسبب أساسي هو أن أي متحرك ليس له سرعة أعلى من سرعة الضوء. إن سرعة الضوء هي سرعة لا يمكن تجاوزها! إذا أمكن تجاوزها، فيمكن العودة بالزمن إلى الوراء.

يمكن أن نتبين ببساطة أيضاً أنه عندما نقيس طولاً ما، فإن الطول المقاس من على متحرك، عندما نكون عليه، هو دوماً أدنى من الطول الذي نقيسه لدى مراقبتنا المتحرك من نقطة قررنا أنها ثابتة. إذاً كما نرى هناك تمدد للوقت وتقلص للمسافة. هنا أيضاً يمكن أن نكتب الصيغة التي تحدد هذا العامل الشهير: $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ وذلك بالعلاقة: $L = Lo\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$.

ولكن لابد من لفت الانتباه، فكل ذلك زمناً ومسافة، لا يصبح محسوساً (مرئياً)، إلا عندما تكون سرعة المتحرك ليست بعيدة كثيراً عن سرعة الضوء. من أجل السرعات العادية، فإن التعبير $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ ، يعادل عملياً الواحد، ويبدو، إذاً، كما لو أن لا شيء يحدث: في الواقع لا يمكن رؤية شيء. فبالنسبة لطائرة تطير بسرعة 1000 متر في الثانية، فإن هذا التعبير يساوي الصفر مع تكرار الرقم تسعة 11 مرة بعد الفاصلة

---

* لمن هو خارج الباخرة، التي سرعتها 100 كم/ساعة، فإن سرعة الضوء تكون كبيرة جداً بحيث أن فرق الوقت هو من مرتبة 10^{-6}! عشر المليون! هذا ليس مدهشاً، باعتبار أنه لا يمكن أن يلمح.

(0.99999999999)، فقط العُشر الثاني عشر يتغيـــر!. ولكـــن إذا كانـــت شروط التطبيق بعيدة عن الحالات المألوفة، فكيف يمكن لنا أن ندقق تجريبياً صحة وصدق هذه النظرية؟.

التجربة ملكة

نعم التجربة ملكة! تجربتان سمحتا بالتحقق سريعاً من النظرية التي اقترحها أنشتاين. أولاً تجربة ميكلسون ومورلي الشهيرة، التي تم إجراؤها قبل عرض نظرية أنشتاين، في عام 1887. الهدف من هذه التجربة كان توضيح الأثير، هذا الأثير الشهير الذي اقترحه كريستيان هويغن لتبرير فكرة أن الضوء موجة ـ وأنه، إذاً يعدل الوسط الذي ينتشر فيه، على طريقة الموجة الصوتية. من أجل ذلك فإن ميكلسون ومورلي قاسا سرعة الضوء، في اتجاه حركة الأرض حول الشمس نفسه (100000 كم/ساعة)، وفي الاتجاه العمودي عليه. من أجل التوصل إلى ذلك وضعا تصميماً داهياً، وأجريا فيه تداخلاً لأشعة قطعت المسافة نفسها. هنا لاحظا أهداب التداخل (دوماً التداخلات) وبيَّنا أنها متماثلة، ولا تتغير تبعاً للتوجه الذي يتوجه حسبه التصميم، بوضعه على أرضية تدور. حيث بقيت القيمة هي ذاتها. باختصار لم يكن هناك من أثر محرض من جراء حركة الأرض. إن سرعة الضوء هي نفسها في كل الاتجاهات.

التجربة الثانية هي المعروفة باسم الميونات* muons، وهي أجزاء عنصورية لم يعرفها الجمهور مثل الإلكترونات، أو البروتونات أو النترونات، وهي غير مستقرة وتتحول، وتتميز بحياة مدتها ميكروثانيتين. بانتشارها بسرعة الضوء (299000 كم/ثانية) فإن الميونات المولَّدة في الطبقات العليا من الجو (لا يهم كيف)، لا يمكنها أن تقطع أكثر من 600 متر. ولكن بما

---

* هي أجزاء صغيرة عنصورية خفيفة (ليبتون Lepton) مشحونة بشحنة مماثلة للإلكترون. **المترجم**

أنها ولدت على ارتفاع 6000 متر من الأرض، في عرض الجو، فإنه لا يتوقع أن يصلنا أي منها. الواقع أنَّها تصلنا ونكشفها ونقيس منها على الأرض. هذا التعارض يفسَّر جيداً بالنسبية. لأن للميونات، تبعاً لنظام المراقبة التي نجريها، باعتبار أن مرجعنا مرتبط بالأرض، مدة حياة تزيد كثيراً على تلك المقاسة في حالة السكون: أكثر بست عشرة مرة، مما يسمح لها أن تقطع مسافة 9500 مترٍ، ويسمح لها بالوصول إلى الأرض. طبقاً لنظام المرجعية الذي نعمل به، فإن الميون يقطع 9500 متر في حين أنه حسب نظام مرجعه هو، فإنه لا يقطع إلا ستمائة متر!. بدون النسبية، من الصعب تفسير ذلك وفهمه...

المغناطيسية السافرة

النجاح الثالث لنظرية أنشتاين لا يعود بشكل خاص للتجربة. إنها تفسير القوى المغناطيسية، الترابط ذاتي الجوهر الذي أقامه ماكسويل بين الحقل الكهربائي والحقل المغناطيسي، فكل منهما يولد الآخر مستخدماً بذلك نموذجين من الظواهر التي تبدو مترابطة ولكن متميزة عن بعضها. باستخدام النسبية، أوصل أنشتاين، الظواهر المغناطيسية إلى آثار كهربائية نسبية. وهكذا فبالنسبة لتجربة السلكين الكهربائيين المتوازيين الشهيرة، والتي يتم حسبها جريان تيارين كهربائيين متوازيين يتجاذبان بتأثير القوى المغناطيسية، برهن أنشتاين أنه إذا تحققت الحيادية الكهربائية في السلكين، بالنسبة لمراقب في المختبر، فإن الأمر لن يكون كذلك بالنسبة لكل من السلكين، الذي "يرى"* أحدهما الآخر، مع انزياح كهربائي بسيط. إذا اعتمدنا كعلام، الشحنات السالبة لأحدهما، فإن هذا الناقـــل "سيرى" عدم توازن كهربائي خفيف في الآخر نتيجة تقلصات الأطوال... إلخ.

---

* تعبير مجازي للتدليل على الفعل المتبادل بين السلكين تسهيلاً لتوضيح الفكرة. **المترجم**

الواقع أنَّ قوى كهربائية سوف تؤثر، لاحقاً، على هذه الاختلالات الصغيرة للشحنات، بحيث تقود إلى أن السلكين سيتجاذبان. بالطبع فإن هذه الآثار النسبية صغيرة جداً، باعتبار أن الإلكترونات لا تنتقل في ناقل إلا بسرعة أدنى من ميلليمتر واحد/الثانية. ولكن بما أن القوى الكهربائية هائلة... تصور أن النسبة بين القوى الكهربائية وقوى الجاذبية لإلكترون هي 10^{42}، أي 1 متبوع بـــ 42 صفراً! فإن تأثيراً صغيراً (كهربائياً) يمكن أن يكون له نتائج (مغناطيسية) جسيمة وهامة جداً. هذا هو روح وجوهر المغناطيسية. هكذا إذاً تقدمنا أيضاً في مسيرتنا نحو التوحيد، القوى الكهربائية والقوى المغناطيسية هي من طبيعة واحدة.

المركبة الفضائية لانجوفان

كان لانجوفان (1872 – 1946) أحد الفيزيائيين الفرنسيين الكبار. كان في بداية القرن العشرين، أحد الفرنسيين النادرين المدافعين عن نظرية النسبية، وكان يفتش عن تبسيطها وتعميمها بطريقة فعالة. ضمن هذه الرؤية ابتكر قصة صغيرة.

ليكن توءمان بعمر خمس وعشرين سنة. أحدهما يقلع في مركب فضائي، ليقوم بدورة في الفضاء بسرعة قريبة من سرعة الضوء (لتكن 80% من هذه السرعة). والآخر يبقى على الأرض وينتظر عودة مثيله. رحلة المركب تتطلب أربعين سنة ضوئية، أي مدة خمسين سنة (إن الأمر لا يتطلب أكثر من عملية تقسيم بسيطة*). إذاً التوأم الذي على الأرض سيكبر خمسين سنة عند لحظة عودة الآخر، ولكن هذا الأخير قطع 60%،

---

* باعتبار أن سرعة المركبة هي 80% من سرعة الضوء، فلو كانت هذه السرعة هي سرعة الضوء فإن الزمن سيكون خمسين سنة لا أربعين ($\frac{40x100}{80}$ = 50 سنة). **المترجم**

ولن يكبر عمره عند عودته إلا ثلاثين عاماً. وعندما سيلتقيان على الأرض، فإن أحدهما سيزيد عمره عشرين سنة عن الآخر. الواقع أنَّ هذه القصة تعاني من خطأ أساسي يمكن كشفه بسهولة*. حقيقة، بما أن كل شيء نسبي، كان يمكن أن نعتبر أن المركب الفضائي كان ثابتاً وأن الأرض هي المسافرة بسرعة 80% من سرعة الضوء. في هذه الحالة ستكون النتيجة هي العكس. وفي الحالة هذه، كيف يمكن، انطلاقاً من السيرورة نفسها "السيناريو" أن يكون لدينا مرة توءم أكثر شباباً، ومرة نفس التوءم نفسه أكثر شيخوخة؟.

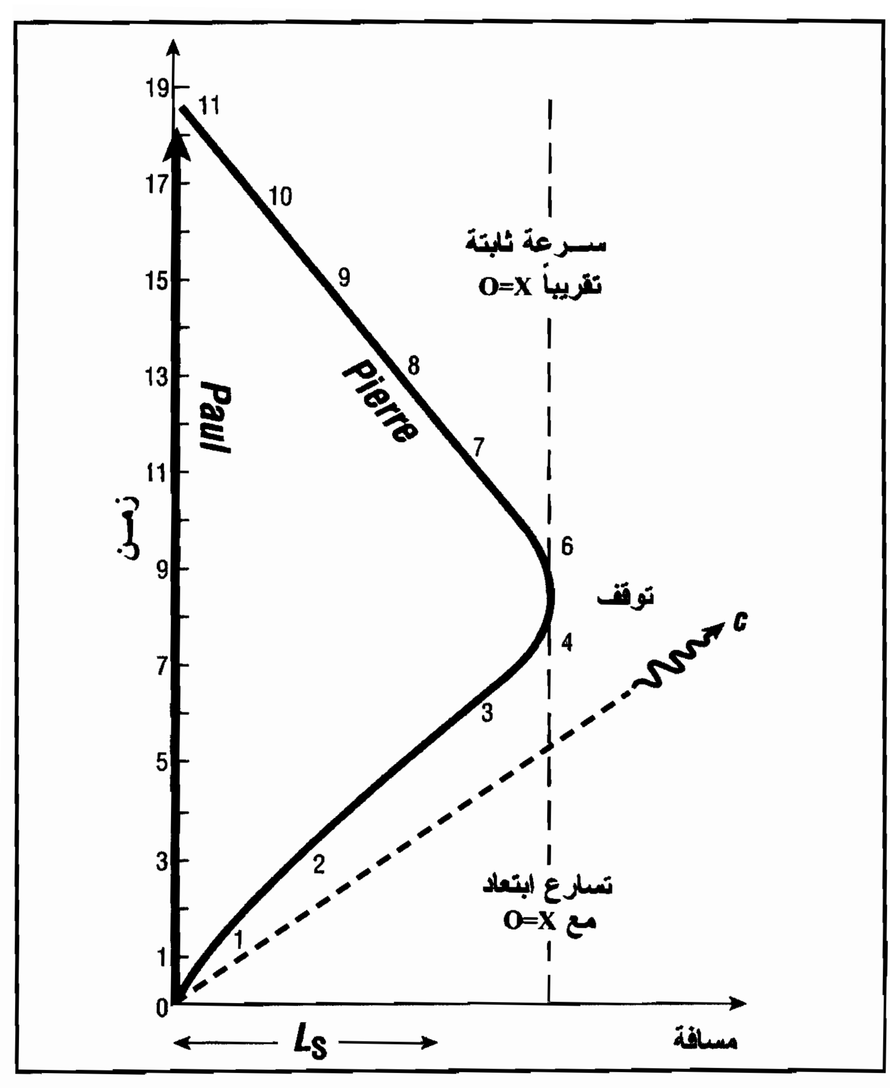
واقع الأمر أنَّ هناك انقطاعاً في المحاكمة. النسبية الموجزة لا تطبق، كما أسلفنا، إلا في حالة علام مستقر، أي ينتقل بسرعة ثابتة واحدة. وعليه للقيام بالرحلة كان على المركب الفضائي أن يتسارع ثلاث مرات. مرة للإقلاع، مرة للهبوط، ومرة لتغيير الاتجاه، لكي يدور ويعود إلى الأرض. فكل هذا يغير السيرورة.

يفهم ذلك عندما تمثل التجربة فيما نسميه ـ الفضاء ـ الزمن (انظر شكل 2.9)، فسترى في نهاية الأمر أنَّ التوءمين كبرا بشكل متماثل (أو تقريباً). من هنا كان انهيار المسلسل الأمريكي الشهير حرب *النجوم* Star Trek، الذي، لكي يكون ممكناً، كان عليه أن يتطور مع سرعات الانتقال القريبة من تلك التي للضوء.

كتلة وطاقة

باستخدام منطق لا يقهر، ودون الحاجة للجوء إلى رياضيات معقدة، يمكننا متابعة البرهان وتطبيقه هذه المرة على الكتلة. النتيجة مباشرة: إن كتلة جسم في حالة حركة (بالنسبة لعلام اختياري)، هي أعلى منها في حالة

* خطأ لم يفلت من لانجوفان ولكنه كان يرمي قبل كل شيء إلى إيقاظ الأذهان والعقول.



شكل 2.9

مركبة لانجوفان الفضائية. منحنى الزمن – المسافة. بيير يسافر، بول لا يسافر (بالنسبة لمرجع اختياري تم تثبيته).

سكون، عندما نقيسها بالنسبة لعلام ثابت. يمكن أن يستنتج من ذلك، فيما يخص الطاقة، القانون الشهير، $E = mc^2$، حيث E الطاقة، m الكتلة، c سرعة الضوء. توضح هذه المعادلة، لا فقط أن الكتلة والطاقة متماثلتان، بل أنه يوجد ترابط عميق بين الاثنتين بحيث يؤمل تحويل إحداهما إلى الأخرى.

تم التفتيش عن الطبيعة الخفية لهذا المقدار الذي هو الطاقة فتم التأكد من أن بعضاً من الطاقة محتوى ومحتضن في الكتلة، ومتاخم للكتلة. وكما نعرف، فمن هذه الصيغة، ستخرج الطاقة الذرية، حيث نحطم قليلاً من الكتلة للحصول على كثير من الطاقة. وهذا يبين أن سرعة الضوء المرفوعة للتربيع هي عامل هائل.

وهكذا بعد عشرة سنين، في عام 1915، حل أنشتاين المشكلة الأكثر صعوبة فيما يتعلق بوصف جمل استناداً إلى مراجع ليست في سرعة موحدة، ولكن في تسارع. التجربة الشائعة للمصعد تعلمنا أنه عندما يكون هناك تسارعٌ، فيمكن أن نستنتج من داخل جملة في حالة حركة (ولكن مرة جديدة، ليس ذلك عندما تكون في حالة حركة ثابتة موحدة)، أنه إذا ما شعرنا بشوش، بارتجاجات، باحتكاكات، فهذا يعني أنه يوجد تسارع.

كيف يمكن تطبيق مبادئ النسبية في هذه الحالة؟ سيبين أنشتاين ذلك وهذا سيقود إلى إعادة النظر كلياً في نظرية الجاذبية لنيوتن وتأثيرها على الضوء. ولكن ذلك أمر آخر... جوهر موضوع النسبية العامة*. كل شيء نسبي. ألا ينسحب ذلك على الأفكار، على الآراء، على الاعتقادات؟ إنها النسخة "المبتذلة" ولكنها مليئة بالحس السليم الذي تعلمه الجمهور من عمل أنشتاين، كما بدا له هو ذلك.

في هذه المجالات، ليس الأمر فقط أنه لا توجد علاّمات مطلقة، وإنما لا توجد إسنادات مختارة. فنحن لا نقدر، لا نقيس، لا نقيم أبداً بالمطلق، ولكن دوماً "بالنسبة لـــ"... إذاً، حقيقة، دعونا نتجنب تدريس المطلق.

---

* التي انتظر الوقت المناسب للتطرق إليها في مؤلف لاحق... إذا كانت لدي الشجاعة (وبمساعدة زملائي المختصين).

10

أســـــرار الحـــيـــاة

ستكون البيولوجيا أهم الفروع العلمية في القرن الحادي والعشرين. خلافاً للأسلوب الذي استعملته بالنسبة للفروع الأخرى، فسوف أستكشف البيولوجيا "بالمقلوب" بالانطلاق من نقطتها المركزية، حيث يتلاقى ماضيها ومستقبلها – بنية وشمولية الـــADN *Acide désoxyribonucléique.

الحمض النووي الريبي منزوع الأوكسجين ADN

الـــ ADN هو جزيئة، جزيئة كبيرة، أي أنها مكونة من مليارات من الذرات متصلة إحداها بالأخرى. شكلها متطاول، هي نوع من سلك مضاعف ملفوف، حلزونان مترابطان متضامنان. الحلزون المضاعف الشهير للـــ ADN، هو الحلزون المضاعف للحياة. كل حلزون، كل سلك، مكون من سبحة (سلسلة) من الجزيئات الأصغر. تسمى هـــذه الجزيئـــات المكونة: **النيكلوتيدات** **Nucléotides**. إذا كانت الجزيئات معزولة فإن النيكلوتيدات تعتبر كجزيئات معقدة. لنحاكم قليلاً: كل نيكلوتيدة مكونة من تجمع من ثلاثة عناصر: **سكر**، **فوسفات** و**أساس**. يتغير شيء واحد من نيكلوتيدة إلى أخرى: **طبيعة الأساس**. يوجد أربعة أنواع من النيكلوتيدات،

---

* الحمض النووي الريبي منزوع الأوكسجين ويرمز له بالإنكليزية DNA. **المترجم**

التي نسميها تسهيلاً ATCG*. بما أن هذه النيكلوتيدات منظمة في سلاسل، فإنها تتتابع خلف بعضها بعضاً كأحرف الأبجدية... ATGATGCTA.

تتتابع أحرف هذه الرسالة إذاً، ولكن ليس ذلك دوماً بالترتيب نفسه. هذا الترتيب ليس متماثلاً إلا للنوع الحي نفسه. كل نوع له تتابعه ورقم أحرفه المميز، الخاص به، ولكن البناء الهندسي لأساسه، أي الانتظام في حلزون مضاعف، والأحرف متماثلة ــ نعم، هي نفسها ــ لكل الكائنات الحية، من البكتريا إلى الفيل، من الفطر إلى الوردة، من الأشنة البحرية إلى الإنسان.

هذه التتابعات مكتوبة بأحرف متماثلة مجموعة في "كتاب" يملك الشكل نفسه "حلزوناً مضاعفاً" وهو ما يدعى الترميز الوراثي، وهو نفسه للجميع. الترميز الوراثي هو تقريباً كالشيفرة: هذه الأخيرة تكتب بنقاط، وخطوط قصيرة "شخطات"، خطوط طويلة، وصمت. والترميز الوراثي نفسه مكتوب باستخدام أربع إشارات، ويقوم على وجود ما نسميه "الروامز Codons" أي ثلاثيات من ثلاثة نيكلوتيدات. مدلول مختلف الروامز هو نفسه بالنسبة لكل الكائنات الحية: هذا هو المعنى العميق لما نصفه بوحدانية الترميز الوراثي.

ولكن لماذا الاهتمام بهذه الجزيئات الكبيرة السلكية التي نسميها الــ ADN؟ مع أنه يوجد في جسم الإنسان آلاف الجزيئات المعقدة المهمة **مثل الــ ADN! أهمية الــ ADN هي أنها تحمل الرمز الوراثي**، إنها تحمل فيه الوصية الوراثية، أي ما يحدد ويحرض الطريقة التي تتكاثر وتتطور وتتكون بحسبها الكائنات الحية. وعليه فالإنجاب بالنسبة لكائن حي هو الحياة. فالكائن الحي سواء أكان أشنة، إنساناً، حشرة أو شجرة، له خاصية

* A = أدينين، T = تيمين، C = سيتوزين، G = غونين.

أساسية تتمثل بأنه ينجب بشكل مماثل له تقريباً. لا الحجارة ولا الجبال ولا مستصنعات من قِبل الإنسان لا تنجب (حتى الرجل الآلي ـ الروبوت ـ لا ينجب بالرغم من الجهود والإعلانات الدورية للأستاذ منسكي من المعهد التكنولوجي MIT). وكل المحاولات لتركيب حياة في المختبرات اصطدمت بهذا العائق. حتى الآن لم تتمكن أية جزيئة تركيبية التوصل إلى أن تنتظم بطريقة تستطيع فيها الإنجاب تلقائياً دون تدخل خارجي. وهذا ما تستطيعه الـ ADN، فهو يستطيع التكاثر، أن ينجب صورة طبق الأصل عنه بالتكاثر، وهو ينقل من جيل إلى جيل الخصائص المميزة للأفراد وللأنواع.

تبعاً للأنواع فإن جزيئات الـ ADN تكون طويلة قليلاً أو كثيراً، مضاعفة بسبب التتابع المختلف للنيكلوتيدات التي تكونها، ولكن مهما كانت درجة تعقيدها فإن لها دوماً البنية نفسها والسلوك العام نفسه. وهذا هو ما برهن عليه مؤسسو البيولوجيا الجزيئية، الذين أصبحت أسماؤهم من الآن فصاعداً محفورة في تاريخ العلوم: كريك، داتسون، مونو، جاكوب، برنر وآخرون غيرهم، واعتباراً من الآن نشأت البيولوجيا الحديثة.

لنعد لحظة إلى مظهر أساسي للـ ADN، خاصية الحلزون **المضاعف** ولنؤكد حالياً على كلمة مضاعف. الواقع أنّنا نجد على كل حلزون تتابعاً كبيراً مكتوباً مع الأحرف الأربعة، ولكن التتابعين لكل ADN ليسا متماثلين بشكل تام. هذان الحلزونان ليسا مستقلين، إنهما متكاملان. A بمواجهة T، G تواجه C بشكل دائم. إن مجمل الحلزونين يحمل الرسالة الوراثية، ولا يوجد حلزون واحد يكون مكرراً بشكل متماثل. الحلزونان مرتبطان مع بعضهما بقوى ذرية "ضعيفة"، بالجسور الهيدروجينية التي أثرناها في الفصل الأول. هذه الجسور الهيدروجينية تؤمن تماسك الـ ADN، ولكن في بعض الظروف فإن هذه الجسور يمكن أن تتقطع وبالتالي

يستطيع كلٌّ من الجزأين المنفصلين أن يتابع حياته الخاصة. إن هذا الانفصال هو أساسي ــ ويمكن القول أنه سحري. هذه هي الحال أثناء **التكاثر الخليوي** أو **الجنسي** (انظر شكل 11.ملون).

لابد هنا من إدخال مبدأ أساسي في البيولوجيا (سبق اكتشاف الـ ADN وبنيته): هو المتعلق بالصبغيات Chromosomes. كل صبغي مكون من جزيئة ADN كاملة على شكل حلزون مضاعف، محاط بغلاف من البروتينات. تنتقل هذه الصبغيات بشكل ثنائي (أنبوبان مضاعفان)، أحدهما ينحدر من الأب، والآخر من الأم. بفضل الحلزون المضاعف للـ ADN فإن هذه الصبغيات تستطيع أن تكرر نفسها، أي تولِّد أضعافاً. عند التكاثر الجنسي، فإن الأمور تكون أكثر تعقيداً. كل شيء يبدأ كتكاثر خليوي. جزيئات الـ ADN تتوالد بشكل مشابه لها، ولكن تحصل لاحقاً ظاهرة رئيسة: فك الارتباط الصبغي وبدلاً من الحصول على صفيحتين، على غرار الخلايا العادية، فإن الخلايا الجنسية لم يعد لها منها إلا واحد، وحين الإخصاب فقط تتشكل الثنائية الصبغية، ولكن مع صبغي قادم من الأم، وآخر قادم من الأب، وهذا ينطبق على كل أنواع الصبغيات.

هذا يعني أنه بالنسبة للإنسان الذي لديه ثلاثة وعشرون زوجاً من الصبغيات، فإن الظاهرة تتكرر ثلاثاً وعشرين مرة، بشكل متزامن. هذا المزج، الذي هو بحد ذاته هائل، يزداد أيضاً عندما تتبادل هذه الصبغيات المزدوجة نتفاً من الـ ADN. وهكذا فعلى الصبغي نفسه والثنائية المضاعفة للـ ADN، نجد نتفاً قادمة من الأب وأخرى من الأم. الانضمامات المختلفة الممكنة أثناء هذه العمليات هي بشكل خاص غير قابلة للتخيل. ومن كل هذه الأحداث فإن مطواعية الـ ADN تلعب دوراً رئيسياً.

في حالة **التكاثر الخليوي** (المسمى أيضاً الجنسي)، حيث تُعطي كل خلية حية خليتين أختين، وكل ذراع ينشطر إفرادياً، فإن حلزونين مضاعفين متماثلين، سوف يلتقيان في كل خلية جديدة. وهكذا فإن الـــ ADN سيتكاثر بشكل مماثل له، من خلية إلى خلية.

في كامبردج من 1951 – 1953

قدم شاب بيولوجي أمريكي، هو جيمس واتسون، إلى مخبر كافونديش، المخبر الأكثر جاذبية وشهرة من مخابر الفيزياء في العالَم. فماذا جاء يفعل هذا الشاب البيولوجي؟ ألم يستبعده الفيزيائيون حينما أجرى تدريبه ما بعد الدكتوراه؟ في هذا الوقت كان يدير مخبر كافونديش واحد من أهم أعمدة العلم في العالَم، السيد لورانس براغ، الذي نال جائزة نوبل في الفيزياء، مناصفة مع أبيه، لاكتشاف الطريقة التي تسمح بها أشعة إكس فك رموز بنية الجزيئات والبلورات. منذ أن صار مديراً لكافونديش (خلفاً لإرنست رايزرفورد)، قرر براغ أن يوجه البحوث نحو تحديد بنيات الجزيئات الكبيرة التي تكون الكائن الحي. كان يعي (تماماً)، أنَّ الآفاق الكبيرة للعلوم سوف تكون في مجال البيولوجيا!.

لم يكن جيمس واتسون يفهم الكثير عن الكريستالوغرافيا، هذا الفرع الصعب والتقني من العلوم، ولكن كان لديه اقتناع ضمني بأن الصبغيات مكونة من الـــ ADN، لا من بروتينات، كما كان يعتقد عموماً في ذلك الوقت. ولذلك أراد أن يحدد بنية الـــ ADN لكي يخترق، كما قال، "سر الحياة"، وبدا له أن كافونديش هو المكان المثالي لإنجاز هذا المشروع. قبل ذلك بعدة سنوات، في عام 1944 تماماً، طرحت مجموعة من البيولوجيين من جامعة روكفلر، يديرها أوسوالد آفري، فكرة أن المورثات مكونة من الـــ ADN، ولكن هذه الفرضية لم تسترعِ الاهتمام. كان واتسون مقتنعاً، بعد أن أنهى أطروحته، أن أفري وزملاءه على حق.

وهكذا حط واتسون في كامبردج وأقنع سريعاً، أحد الطلاب الدائمين، هو فرانسيس كريك، فيزيائي يحضر أطروحته منذ زمن طويل، بأن يفكر معه في بنية الـــADN. وكما نعلم اليوم، فإن هذا التعاون سيكون خصباً جداً. في الوقت نفسه، وليس بعيداً من كامبردج، في لندن، في الكلية الملكية، كان كريستالوغرافي آخر، هو موريس ويلكنس، يعمل مع شابة فيزياكيميائية هي روزاليند فرانكلين. نشر ويلكنس كليشات (الشريط السالب) أشعة X لـــ ADN، ولكنه لم يكن قادراً على استنتاج بنيتها الدقيقة، وهي عملية ليست بالبسيطة باعتبار أنه يتم التعامل مع جزيئات كبيرة جداً.

قام كل من واتسون وكريك بزيارة ويلكنس وفرانكلين، للنقاش معهما، دون التوصل لإقناعهما بإقامة تعاون حقيقي لمحاولة فك رموز بنية الـــ ADN، ولكن انفضوا على وعد أن يبقوا على اتصال. عند العودة إلى كامبردج، تصدى كريك، تحت التحريض المستمر لواتسون، للقضية الكريستالوغرافية، أي لتفسير كليشات ويلكنس، التي حملوها معهم، مظهراً تملكه لخيالية متوهجة، ستستمر معه على امتداد حياته، ولكن أيضاً، بدا مجرباً خارقاً في الكريستالوغرافيا.

كان العالم يتناقل فكرة الحلزون. وكان لورانس براغ قد أثارها بمناسبة الحديث عن بنية بعض البروتينات، وكان لينوس بولينغ، الأستاذ الكبير في الكيمياء الحديثة، قد وضع نموذجاً للـــ ADN مزوداً بحلزون وحيد. أما كريك فبيَّن أن كليشات أشعة إكس يمكن أن تفسر انطلاقاً من بنية حلزونية ولكن مزدوجة (يبدو أن روزاليند فرانكلين قد توصلت إلى النتيجة نفسها بطرق مختلفة). بدأ كريك وواتسون في ذات الوقت، بوضع نموذج للجزيئة له شكل حلزون مضاعف. كان ذلك نوعاً من لعبة الليغو Légo حيث العناصر الجزيئية الأساسية متصلة بسلكين من الحديد بشكل حلزون

مضاعف. الصعوبة كانت في توضُّع النيكلوتيدات بطريقة تشغل معها الفضاء بشكل متراص ومتناسق، وبحيث أن الحلزونين تربطهما روابط كيميائية هيدروجينية لتأمين صلابة المجموعة. الدهاء والخيال كانا أساسيين لنجاح هذا المشروع: بهذا الصدد فلا كريك ولاواتسون ينقصهما ذلك الدهاء والخيال وهذا ما شكل السبب الأساسي لنجاحهما. بعد أن تم وضع النموذج الجزيئي، كان لابد أن يكون متوافقاً مع كليشات أشعة X التي صارت أكثر فأكثر دقة من تلك التي حصل عليها موريس ويلكنس ـ وأيضاً روزاليند فرانكلين. بالنقاش فيما بينهما، ولكن أيضاً مع زملائهما الكيميائيين، في تجمع كامبردج، ومع اختصاصيي أشعة X ، دون أدنى شك مع براغ، عملا دون توقف على اكتشاف وتحسس وتعديل هذا النموذج. باختصار، بفضل عمل فكري صارم ومثابر، توصل واتسون وكريك إلى وضع بنيتهما الجزيئية وجعلها متوافقة مع كليشات أشعة X، وهذا العمل التركيبي الخارق هو الذي قاد أخيراً إلى بنية الـ ADN.

بعد عشر سنوات من تاريخه نال كل من كريك، واتسون وويلكنس جائزة نوبل في البيولوجيا، الفيزيولوجيا والطب. في هذا الوقت كانت روزاليند فرانكلين قد ماتت بالسرطان. وهكذا فالعنصر النسائي المساعد في هذا الفريق كان الضحية، ولكن الوقائع أبسط من ذلك: لو أن روزاليند فرانكلين عاشت، لكانت تقاسمت بدون شك جائزة نوبل في الكيمياء مع موريس ويلكنس، تاركة جائزة نوبل في الفيزيولوجيا والطب لكريك وواتسون. ليس هناك من أدنى شك في أنه لا هي ولا ويلكنس لم يقدرا أهمية البنية التي يدرسونها ـ وخاصة انعكاسات اكتشافاتهما، لكنهما كانا من الكريستالوغرافيين الأقوياء الممتازين، بين هؤلاء، الذين، نال الواحد منهم بعد الآخر بالتسلسل، جائزة نوبل، عن جزيئة مختلفة لكل منهم. هذه

المكافآت تعكس التأثير المبالَغ لبراغ. دون أدنى شك فإن كريك وواتسون استخدما ويلكنس وفرانكلين، وما تتابع لاحقاً أكد ذلك، فقد كانا المبدعين الحقيقيين.

النجاح الخارق لبنية الــ ADN هذه يجب أن لا يدهشنا، حتى ولو تطلب الأمر خمس سنوات لتقدير قيمته. إن ذلك يجد تبريراً له بأن هذه البنية تسمح بالتقارب، بل والالتحام بين فصلين من البيولوجيا: نظرية التطور التي اقترحها لامارك ثم داروين، علم الوراثة الذي ابتكره غريغور مونديل، النظرية الخليوية المشتقة من أعمال فيرشو، نظرية التطور وعلم الأجنَّة، والكيمياء البيولوجية (التي تسعى لتحديد الكائن الحي بعبارات كيميائية). كل هذا يتم توحيده معاً، في عرض متجانس رائع، بفضل هذا الحلزون المضاعف الساكن عند كل الكائنات الحية في قلب الخلايا، في نواتها، وفي كل خلاياها. هذا غير معقول ومع ذلك فهو حاسم، أن هذا الحلزون المضاعف ليس فقط يقرب ما بين مفاهيم لتحت فروع بيولوجية مختلفة، كان يعتقد أنها متمايزة، ولكن لأنه يقدم لكل منها أجوبة لبعض الأسئلة الجوهرية الحاسمة.

التطور

تعتبر نظرية تطور الأنواع بدون شك، النظرية العلمية الأكثر شيوعاً "الإنسان ينحدر من القرد. نحن كلنا، من بعيد، منحدرون من البكتريات". إنها النظرية التي أثارت أكثر النقاشات حمية وسخونة، من كل صوب ولون، ومع السلطات الدينية على اختلاف أنواعها. وفي الوقت نفسه فإنها النظرية الواهبة، القلب، العمود الفقري، الإطار العام النهائي لعلوم الكائن الحي.

أضاف الـ ADN لهذه النظرية عنصر برهان مطلق، إذ أن كل الكائنات الحية، من البكتريا إلى الفيل، من الأشنة الزرقاء إلى الوردة، من الرخويات إلى الإنسان، كلها ترى موطنها الوراثي مرمزاً في هذه الجدائل المزدوجة من الـ ADN. بالتأكيد ليس للـ ADN كلها الطول نفسه. وهذه الجدائل المزدوجة (الصبغيات) أكثر عدداً وتعقيداً عند الإنسان منه عند البكتريات (تمتلك الـ ADN عند الإنسان 3.5 مليار من النيكلوتيدات، من "الأحرف" المنتظمة في 46 صبغي، في حين أنه عند البكتريات يوجد مليونان من النيكلوتيدات، وصبغي واحد)، ولكن *الأمر يتعلق دوما بالـ* ADN. عندما ندرك التعقيد الجزيئي الهائل الذي تمثله الـ ADN، وعندما نقيس الرقة والآلية الخارقة في الدقة التي يتميز بها، فإنه من غير الممكن أن نتخيل أن أجيالاً تلقائية من سلالات مختلفة وتتابعات لتفاعلات كيميائية منفصلة استطاعت التوصل إلى بنية مشتركة بهذه الدرجة من التعقيد والتشابه. ومن جهة أخرى فإن كل حسابات الاحتمالات، كل الأعمال التجريبية للكيميائيين المتراكمة منذ قرنين، انتهت إلى نتيجة متماثلة: إنه لا يعقل أن تكون الطبيعة قد استطاعت أن تصنع، بشكل منفصل، الـ ADN عبر عدة عمليات مختلفة. على مستوى الجزيئة، أي، على المستوى الأساسي، نحن جميعاً إذاً جئنا من القالب الأساسي نفسه، الـ ADN، الذي تكوَّن في مرة واحدة، في لحظة واحدة، في مكان واحد ــ منذ وقت طويل جداً.

الـ ADN هو المسمى المشترك، الحارس، الشاهد، الرمز، المعماري، المحرك لكل ما يزال اليوم أيضاً هو الأكثر سرية من العلم: الحياة، والدليل الأكثر صلابة لهذه النظرية الواضحة في عموميتها، والتي لا تزال غير مفهومة في كيفيتها: التطور. تنسب هذه النظرية عموماً لداروين، في حين نرجعها، نحن، إلى لامارك.

لامارك وكوفييه

يعتبر جاك باتيست لامارك (1744 – 1829)، بدون شك، أحد أكبر الأساتذة الذين عرفهم متحف التاريخ الوطني. هو الذي اخترع كلمة **بيولوجيا**، المفهوم الذي بحسبه فإن كل ما هو حي ينتمي للمنطق نفسه (*منطق الكائن الحي*، هو عنوان مؤلف رائع لفرانسوا جاكوب*). انطلاقاً من ذلك أطلق لامارك فكرة أن كل الكائنات الحية، في تنوعها الرائع، ينحدر بعضها من الآخر تبعاً لتسلسل معقد. هنا تكمن فكرة **نظرية التطور**.

أدرك جان باتيست لامارك هاتين الفكرتين الأساسيتين، أو بالأحرى عبَّر عنهما بشكل قطعي بمناسبة محاضرة عامة ألقاها في المتحف الوطني بحدود عام 1793. كان لامارك، الذي تركز نشاطه العلمي حتى هذه اللحظة على النباتات، قد انتخب لتوه ممثلاً لكرسي علم الحيوان في المتحف الوطني الطبيعي، وهو مجال لم يكن اختصاصياً فيه بشكل أولي. ولكي يحضر محاضرته، انطلق بالطبع مما كان يعرفه عن النباتات، ففتش عن التماثل، والتشابه، والقربى بين النباتات والحيوانات، وهكذا توصل إلى فكرة وحدة الكائن ومن ثم التطور.

كان جورج – لويس كوفييه (1769 – 1832)، معاصراً للامارك، وكان هو أيضاً أستاذاً في المتحف الوطني الطبيعي. كان اختصاصه المستحاثات والتشريح المقارن للفقاريات. يعود نجاحه ومجده (اللذان استمرا دوماً) إلى أنه حدد المظهر الذي يجب أن تكون عليه مستحاثة لحيوان صغير لبون (أسد) في مونمارتر انطلاقاً من دراسة بعض العظام المستحاثة المبعثرة. ثم تشاء الظروف العثور على الهيكل الكامل لهذا القاضم الصغير،

---

* باريس، غاليمارد 1996.

فكان ذلك نصراً له: فقد كان قد وصفه حقيقة (ورسمه!) بدقة عالية. بعد هذا النجاح، قام كوفييه بدراسة الطبقات الجيولوجية للحوض الباريسي، وبشكل أدق للمستحاثات التي تحويها. خلال ذلك سجل وجود تغيرات فجائية في طبيعة المستحاثات مع مرور الوقت (من الأدنى إلى الأعلى بالطبع، باعتبار أن الطبقة الجيولوجية التي تغطي أخرى هي أحدث منها). بالنسبة إليه كناظر، فإن ذلك يشهد على حدوث كوارث كانت، دورياً، تدمر المجموعات الحيوانية والنباتية. الله يخلق بالمقابل أنواعاً جديدة، وتعود الدورة من جديد حتى التدمير التالي.

قام لامارك بتفسير ملاحظات كوفييه بشكل آخر، بالنسبة له هذه التغيرات، في طبيعة المستحاثات هي الدليل على تطور الأنواع وتحول البعض منها إلى الأخرى بشكل متدرج، على امتداد الأدوار الجيولوجية. هنا بدأ كوفييه يكره لامارك ويحاربه بكل ما أعطي من طاقة وقوة يمتلكهما. كان كوفييه مقتدراً جداً، بل كان بدون شك أحد العلميين الفرنسيين الأكثر اقتداراً في ذلك الوقت. وهكذا أضر بمهنة لامارك الذي أنهى حياته فقيراً ومجهولاً (في ذلك الوقت، كان العلماء يعيشون على المساعدات العامة ومعاشات الإعالة)، ولم يكن له شارعه حول حديقة النباتات مثل: بيفون، كوفييه، جوفروا سانت هيلير وغيرهم من عائلة جيسيو. لحسن الحظ فإن الجمهورية الثالثة أعادت اعتباره، فأقامت له تمثالاً في حديقة النباتات، وسمت باسمه شارعاً جميلاً وطويلاً في المقاطعة الثامنة عشرة في باريس. ولكن كوفييه كان قد حقق هدفه: فقد انتقل لامارك إلى مناسي التاريخ (مع، وهذا صحيح، المساعدة الفعالة من الإنكليز).

ما الذي يلام عليه الفارس جان باتيست لامارك، ليرفض له لقب أبي نظرية التطور؟ بالنسبة له، يتم تطور الأنواع تحت تأثير عاملين: ميل عام

نحو الكمال، وهو خصيصة طبيعية للمادة الحية، والتأقلم مع الوسط. ولكن هذا التأقلم، بالنسبة إليه، وراثي. فالزرافة تأكل أوراق الأشجار العالية، إذاً تمد رقبتها، التي تطول من جيل إلى جيل وتصبح طويلة أكثر فأكثر، وهذا ما نسميه، بعبارات علمية، "توريث الخصائص المكتسبة". على أن التطورات اللاحقة للبيولوجيا بينت أن ذلك غير ممكن. فجماعة من الفئران تقطع ذيولها لا تولد فئراناً بدون ذيل.

بلغة الــ ADN، فسنرى أن الخصائص المرمزة في الــ ADN تنتقل، أما تلك التي اكتسبت خارج الــ ADN فإنها تموت مع الفرد. الــ ADN هو ما ندعوه المولِّد Germen، ثبات النسب الوراثي، وما تبقى من الكائنات الحية هو الجسم Soma، الجزء الذي يختفي مع موت الفرد. الــ ADN، لا تموت، تنتقل من جيل إلى آخر، الباقي يموت. كان لامارك قد افترض وراثة الجسم، أي خطأ جسيم! وماذا عن داروين الذي ينسب العالَم إليه أبوة نظرية التطور؟ هل أكثر بصيرة؟.

شارل داروين (1809 – 1882)

قطعياً لا. ماذا قال داروين حقيقة؟ نظريته عن التطور هي بالتأكيد أكمل، أفضل برهاناً، أحسن عرضاً من لامارك، ولكن بماذا تختلف عنها أساساً؟ اعتقد داروين، كما لامارك، أن وراثة الصفات المكتسبة والتأقلم مع الوسط كانا العاملين الأساسيين للتطور. إنه اعتقد بتوريث **الجسم**، ولكنه أضاف إلى ذلك عاملاً إضافياً وأساسياً: **الاصطفاء الطبيعي**. فالطبيعة تصطفي الأكثر مقدرة كما قال. هؤلاء الذين يحصلون على غذائهم بشكل أفضل من الآخرين، هؤلاء الذين يجذبون الإناث بشكل أفضل من الآخرين ــ وبالتالي لديهم حظ أكبر لتأمين انتقال جيناتهم (صبغيات) ــ،

هؤلاء الذين ألوانهم، وقاماتهم أو هيئاتهم أفضل تأقلماً مع الوسط هم الأوفر حظاً في انتقال الجينات. يتم الاصطفاء على **الجسم** مما يقود إلى اصطفاء **المولد** الموافق. لقد قيل الكثير عن أنّ فكرة الاصطفاء الطبيعي هذه، حسب داروين، كانت قد استعيرت من قبله من مالتوس. ومع ذلك فلا شيء يؤكد ذلك، كما قال أرنست ماير. مهما يكن من أمر فمن الواضح أن داروين كان رجلاً عظيماً.

داروين هو أحد الشجعان، إنّه يكتب جيداً ولديه فكر واضح ومزود بثقافة موسوعية. جيولوجي، مختص في علم الحيوان، عالِم مستحاثات، سافر كثيراً، خاصة بمناسبة الرحلة على البيغل Beagl* حول العالَم. يلجأ إلى دلائل وبراهين متعددة، مستعارة مرة من علم المستحاثات كما من الجغرافيا البيئية (التجمعات الحيوانية الشهيرة لجزر غالاباغوس، تجمعات الطيور فوق الجزر). كتابه موثق ويحتوي براهين ودلائل بشكل رائع. ألم يثر جدلاً مع الكنيسة الأنكليكانية؟ لقد عانى منها، ولكنه لم يتنازل قيد إصبع على صعيد الأفكار، وقد دافع عنه أصدقاؤه بحميَّة، توماس هيوكسلي، وآخرون. لقد هُدِّدَ وشجب وصُفِعَ ونُبِذَ ولكنه قاوم وصمد. أحد معاصريه الشباب، والاس، دافع بشكل مستقل عن النظرية نفسها، أو تقريباً عن مثل نظريته. وسنرى أنهما قريباً سوف يتكاتفان بشكل متبادل ويواجهان الضد. وهكذا استمر داروين إذاً، وقاوم وكتب كتاباً عن أصل الإنسان. الإنسان ينحدر من القرد، كما يقول، أثار انفعال المجتمع الفكتوري؟.

---

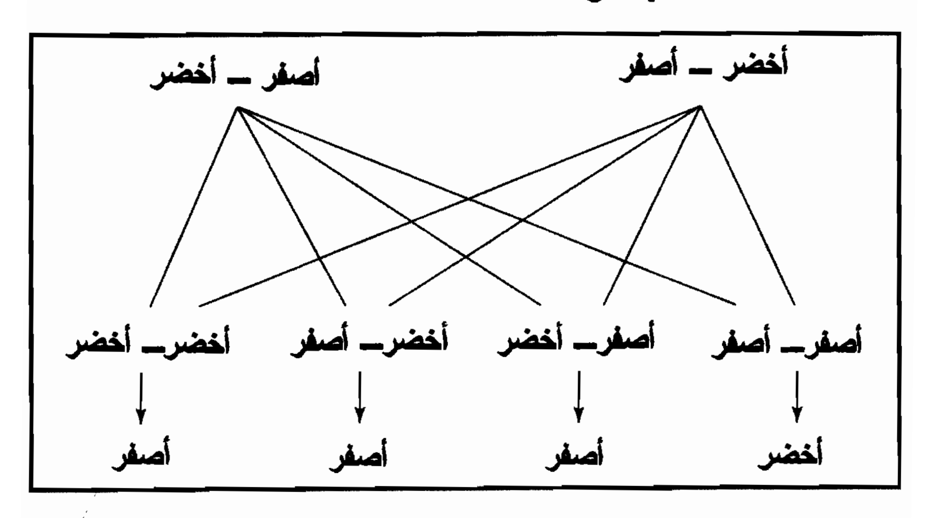
* نوع شائع من الكلاب، قصير مع جنبين مستقيمين، كان يستخدم للتنقل مسافات طويلة وعلى الثلوج. **المترجم**

ثم إن داروين ينتسب إلى جامعة كامبردج الشهيرة، حيث أجرى دراساته. عندما تتوفر الموهبة لأحد ما، ويكون من جامعة كامبردج، فليس هناك من قلق أو هم، بأنه سيصبح مشهوراً ومعترفاً بموهبته هذه! وهذا قائم الآن أيضاً. في كامبردج حتى النقاشات والجدالات فإنها تسهم في خدمة ومصلحة هؤلاء وأولئك المتنازعين. ولكن من يقرأ لداروين اليوم لا يمكن له إلا أن يحزن لأنه، أي داروين، لم يقرأ لمونديل، أبي الوراثة (1822 – 1884)، مع أن كتاب مونديل يعود تاريخه إلى عام 1865، وأما كتب داروين فتمتد في الفترة 1858 – 1871. لا يمكن لنا إلا أن نأسف لذلك، لأن نظرية داروين عانت بشكل قاسٍ ومؤلم من غياب هذا العلم البيولوجي الرائع العجيب الذي هو الوراثة.

علـــم الوراثـــة

كل العالَم أو معظمه يتذكر هذا الراهب التشيكي، غريغور مونديل، الذي كان، في حديقته، يهجن البازلاء العطرية (الجلبان العطري بألوان مختلفة) ويراقب النتيجة. عندما يهجن الجلبان الأخضر مع الأصفر فإن جلبان الجيل الأول كلها تكون صفراء. وعندما يهجن هذه الجلبان من الجيل الأول بين بعضها بعضاً ـــ وهي إذاً كلها صفراء ـــ فإن ثلاثة أرباع الجلبان المولدة هكذا هي صفراء والربع الآخر أخضر. استنتج مونديل من ذلك أن جلبان الجيل الأول يحمل الخاصية المزدوجة أصفر ـــ أخضر، ولكن بما أن الأصفر يسود الأخضر فإن هذا اللون فقط هو الـــذي يظهـــر أثناء الإخصاب. مع ذلك فإن هاتين الخصيصيتين تنفصل أزواجها عن بعضها، وتعود فتتحد مع بعضها، مما يقود إلى حصول أربعة احتمالات، كما يتضح من المخطط الترسيمي التالي: بما أن الأصفر، وهو السائد، معبر عنه وموجود فإن ثلاثة أرباع الأزهار المولدة ستكون صفراء. فقط الزهرة

التي تملك الخاصية المزدوجة أخضر ـ أخضر ستظهر خضراء. باختصار فإن جلبان الجيل الثاني ينتج من التراكب، أصفر ـ أخضر.



بالطريقة نفسها إذا تم التهجين بين شخصين عيونهما بُنِّيَّة ولكنهما يحملان خصيصة بني ـ أزرق، فإن الربع فقط من الأولاد ستكون عيونهم زرقاء. لأن خصيصة "العيون البنية" تسود على خصيصة "العيون الزرقاء". بالمقابل، إذا كان للأبوين عيون زرقاء فسيكون للأولاد حتماً عيون فاتحة. الواقع كلاً من الأبوين يحمل خصيصة مزدوجة أزرق ـ أزرق، وأي تغير في السلالة، اعتباراً من ذلك، غير ممكن: كل الانضمامات ستكون أزرق ـ أزرق.

هذه التجارب لمونديل، التي أسست لعلم الوراثة، تفسّر بالطبع، بشكل مدهش وعجيب بثنائية الصبغيات المتشكلة من سلسلة مضاعفة من الـ ADN. عندما تجتمع خليتان لتعطيا بيضة ملقحة، فإن الثنائية الصبغية تتكون، إحداها تأتي من الأب والأخرى من الأم. يتبع هذا الالتقاء، كما أسلفنا، تبادل أذرع الـ ADN، بين الأزواج الصبغية. كل تتابع من النيكلوتيدات يحمل سلسلة مضاعفة من خصائصه، والسائد منها فقط هو الذي

يفرض نفسه ويظهر بالتالي عند الأفراد (سواء جاؤوا من الأب أو من الأم). ولكن عندما يتكاثر هذا الفرد بدوره، فإن هذه الآليات سوف تحصل، مولدة هكذا، جيلاً بعد جيل، ADN تكون أذرعها من أصل متباين جداً. هذه الظواهر سيكون بالإمكان قياسها فقط بحساب الاحتمالات.

يمكن معرفة كل هذا حسابياً بفضل الصيغ الرياضية للانضمامات. وهكذا يبدو علم الوراثة كفرع دقيق من العلوم، يخضع لقواعد دقيقة تتجاوب مع الرياضيات،وترتبط مع حساب الاحتمالات، كما أكد ذلك مونديل. مع ذلك فعندما ألقى مونديل محاضرته الأولى في برنو في عام 1865، ثم نشر كتابه، لم يُعِر أحد أعماله أي اهتمام. تطلب الأمر انتظار خمسين سنة (المغامرة البائسة نفسها التي حدثت لفيغنر فيما يتعلق بانزياح القارات)، حتى تم النظر إلى عمله بجدية وأُخِذَ بعين الاعتبار. وسيكون ذلك أول تقدير ناله دوفرييس. لنتذكر ما كتبه فرانسوا جاكوب:كيف يمكن القول إذاً أن الفكر الإنساني لا ينتظر إلا أفكاراً جديدة لاقتناصها واستثمارها؟" الفكر الإنساني لا يحب التجديد عندما يكون هذا التجديد أصيلاً جداً.

الواقع العملي، بالنسبة للحيوانات الراقية، أنَّ الأشياء تكون أكثر تعقيداً، لأنه إذا كان الـــ ADN يحمل الرسالة الترميزية للوراثة، فإنه لا يحملها على حلزون مضاعف واحد من هذا الـــ ADN، إذ أن رسالة الوراثة، المكتوبة على الـــ ADN، كأسلوب عام، تكون مكتوبة في مجلدات مختلفة. وهكذا فإن الرسالة الوراثية للإنسان مكتوبة في 46 مجلداً، إذاً 46 حلزوناً مزدوجاً من الـــ ADN. هذه الحلزونات المزدوجة من الـــ ADN، وهذه المجلدات، المحتوية أسرار الوراثة، تسمى، كما أسلفنا، بالصبغيات.

ككل كتاب له غلاف يحميه، الـــ ADN محفوظة بغلاف من البروتينات*. أكثر من ذلك فإن كل كتاب، كل ADN، هو بحد ذاته مقسم إلى بنيات. إنه يحتوي على فصول مفصولة عن بعضها بصفحات بيضاء. هذه الفصول التي تودع فيها بعض الواردات الوراثية فقط تدعى الجينات (المورثات). كل صبغي يحمل إذاً عدداً محدداً من المورثات، بعضها خلف الآخر، مفصولة عن بعضها بتتابعات لاتحمل رسائل، ولكنها تقوم مقام الصفحات البيضاء، والتي تسمى بلغة العارف، الأنترونات Introns.

كل هذا مكتوب بالطبع، مع النيكلوتيدات الأربعة، والأحرف الأربعة AGCT. باختصار يمكن القول أن المكتبة البيولوجية، مكتوبة باستخدام أبجدية من أربعة أحرف، وأنها منظمة من كتب صبغية وفي فصول وراثية. عند التكاثر الجنسي، كل ADN، إذاً كل صبغي ينفصل إلى اثنين. الإنجاب هو كجهاز النسخ (الفوتوكوبي). فعندما يتعلق الأمر بتكاثر خليوي، داخل كل فرد، فإن نسخة عن كل كتاب تكون كاملة. وعندما يتعلق الأمر بتكاثر جنسي، تنسخ الصفحات المزدوجة والصفحات المفردة بشكل منفصل. إذاً يعاد تكوين الكتاب من الصفحات المزدوجة القادمة من الأب، والصفحات المفردة القادمة من الأم فيتشكل كتاب جديد، ورسالة جديدة (شكل 11، ملون). بعد الإنجاب، فإن المكتبة سوف تتكون من جديد، ولكنها لن تكون مماثلة لتلك التي للأهل بالطبع. كل مجلد، كل فصل سيكون نوعاً من التجمع الأصلي والوحيد لخصائص الأب والأم. إذاً سيكون لدينا رسالة جديدة، فرد جديد، جِدة؟ بما أنه توجد رسائل كثيرة، فإن لعبة مونديل الصغيرة في انضمامات الجلبان سوف تتكرر عدداً من

---

* لهذا اعتقد لوقت طويل أن الإرث كان يحمل بواسطة البروتينات.

المرات، بمقدار عدد الصفحات، وهذا ما سيصبح معقداً جداً بسرعة كبيرة. لأنه إذا جاء صبغي من الأب، وآخر من الأم، فإن هذين الصبغيين، بعد تشاركهما، سوف يتبادلان كسرات (نتفاً) من الـ ADN، بحيث أنه في زوج الصبغيات هذا كل منهما سيحمل في الوقت نفسه، نتفاً من الـ ADN (إذاً رسائل)، من الأب ومن الأم. توجد هذه الظاهرة عند كل الأزواج الصبغية لفرد ما.

كل ADN سيتكون هكذا من حلزون مضاعف يحوي كل ذراع منه أجزاء قادمة من الأب، وأجزاء قادمة من الأم. مع ذلك، ففي هذه الآلية المطراة جيداً، تحصل حوادث، أخطاء توجه، أخطاء نسخ صفحات الكتاب. إذ أنه يجب ألاّ ننسى: أن كل ذلك مؤلَّف من جزيئات، هي نفسها مكونة من ذرات، ومعلوم أنه توجد مليارات الذرات التي عليها أن تجد مكانها بالضبط حيث يجب أن تكون. ولذلك فليس مدهشاً، خلال هذه التفاعلات الجزيئية المتمثلة في التكرار والتشارك، أن يحصل من وقت لوقت، تواجُد ذرة في المكان السيِّئ. في هذه الحالة فإن الرسالة الوراثية سوف تتلف. سيقود هذا إلى أنه، في النوع نفسه، تكون الأفراد كلها مختلفة، أو على مقياس الفرد، بعض الأعضاء تكون لها خصوصية. وهذا يمثل مصدراً للتنوع البيولوجي الذي يؤدي إلى أن فردين من النوع نفسه لا يكونان أبداً متماثلين. "كلهم أقرباء، كلهم مختلفون*". ولكن التعديلات، وأخطاء النسخ يمكن أن تكون أحياناً عميقة وتتلف الرسالة كلياً. في هذه الحالة نكون بصدد ما ندعوه **طفرة**، أي تغيُّر هام جداً لايتعلق بولادة فرد جديد وإنما بنوعية جديدة، ونادراً بنوع جديد.

---

* عنوان لمعرض هام جداً لجون ــ بيير لانغاني، في متحف الإنسان. باريس ــ فرنسا.

يعود هذا الإدراك العبقري، إلىالهولندي دوفرييس ـ في بداية القرن العشرين حيث كان متعلقاً بتجارب مونديل وإعادة اكتشافها بافتنان وتلذذ ـ الذي ينص على: تكاثر الأنواع لايتم دوماً طبقاً لقواعد مونديل، فمن وقت إلى آخر، تبرز فجأة خصيصة جديدة غير معروفة عند الأهل. هذا التغير الفجائي، أسماه طفرة. بعد عدة سنوات، أحدث الأمريكي مورغان ـ مستخدماً ذبابة الخل، الدروسوفيل، التي يتم تكاثرها بسرعة جداً وتسمح إذاً بالتجريب عليها "بسهولة" ـ اصطناعياً طفرات بإخضاع الذبابة لأشعة X، أو لأشعة فوق بنفسجية.

قدم اكتشاف الطفرات، المفتاح المحرك والأسباب لتغيرات الأنواع، إذاً للتطور. هذا المسبب الأخير لم يكتشفه، لا لامارك ولا داروين، وهكذا تم دفن توريث الصفات المكتسبة بشكل نهائي، ولم يعد ضرورياً، وصارت الطفرات محرك التطور. إنها لا على التعيين، وليدة المصادفة، تؤدي إلى ظهور صفات جديدة، أفراد جديدة، عائلات جديدة من الأفراد عندما تكــون طفيفة، ولكن أيضاً تقدم أنواعاً جديدة عندما تكون هامة جداً. وانطلاقاً من لعبة المصادفة هذه، فإن الاصطفاء الطبيعي سوف يختار ويصطفي الأكثر تأهيلاً والأكثر منافسة. وهذه المرة سوف تتدعم نظرية التطور البيولوجي التي ستسمى الداروينية الجديدة، وهي حصيلة التركيب بين نظرية التطور والقوانين الداروينية، وبين الانضمام الطفرة ـ الاصطفاء، وهذا ما ترجمه البيولوجي الجريء جاك مونو بصيغة اجتازت العالَم: **المصادفة والضرورة.**

يسمح الـ ADN بفهم الطفرات والتغيرات الفجائية مباشرة ـ كما أسلفنا. إنها "حوادث عارضة" جزيئية عميقة تتم أثناء نسخ الـ ADN، بمناسبة التكاثر الجنسي. عندما تكون هذه الحوادث العارضة صغيرة جداً وطفيفة، كما

أسلفنا، فإنها تقود إلى تشكل أنواع جديدة يحفظها الاصطفاء الطبيعي أو يزيلها، بحيث لا يستمر منها إلا ما هو أهل وأكثر قدرة على التأقلم.

الخلية "ذرة" بيولوجية

في القرن التاسع عشر، اكتشف طبيب ألماني، اسمه فيرشو*، واقعاً: كل الكائنات الحية مكونة من خلايا. وكتب: «كل حيوان يبدو كمحصلة لوحدات حيوية تحمل في كل منها خصائص الحياة». يعكس ذلك التأكيد على وحدة الكائن الحي التي دافع عنها لامارك، ولكنه أيضاً تأكيد تنبؤي. لأن فيرشولم يكن يعرف أن كل خلايا الكائن الحي تحمل بداخلها الـــ ADN للحيوان أو النبات والتي هي مكوناته الأولية. لو أننا، مثلاً، مددنا كل أسلاك الـــ ADN الموجودة ضمن مئة مليار خلية لكائن إنساني وحيد، ووصلناها طرفاً بطرف، لكان لدينا حبلٌ طوله أكبر من المسافة بين الأرض والقمر. في كل خلية يستقر المخطط الكامل الذي يسمح بإعادة توليد كل الكائن الحي. وهذا أساسي ورئيسي، إنه الأصالة الأكبر للحياة.

تشمل كل خلية على غشاء ــ إنه الحد بين الخلية وعالمها الخارجي ــ ونواة، بشكل عام، ومركبات عضوية صغيرة تسبح في مادة زلالية Albumine نصف سائلة، هي البروتوبلازما (أو السيتوبلازما). هذه هي مثلاً، الميتوكوندريتات Mithochondries والريبوسومات Ribosomes. هذه الخلايا تلتحم مع بعضها بعضاً بقوى لاتزال خفية ،وتعطي هذه التشاركات الخليوية أنسجة. فيميزون بين نسيج عظمي، نسيج عصبي، عضلي...إلخ. مما يعني أنه توجد عدة نماذج للخلية كما توجد عدة نماذج للذرة. يملك جسم الإنسان ككل مائة مليار خلية، ولكن يملك فقط سبعين نموذجاً من النسيج.

---

* هو رودولف فيرشو (1821–1901)، أستاذ الطب في برلين، مبتكر البيولوجيا الخليوية، ثم قائد الحزب التقدمي المعارض لبسمارك.

أكد ويزمان، في بداية القرن، أن نواة الخلايا هي التي تحمل عامل التوريث الخليوي. إذاً النواة هي التي تحكم الخلية وتكاثرها. ثم جاء جوهانسن ليستخدم لأول مرة كلمة مورثة Gène، التي هي الوحدة الأولية للتوريث. مع تطور المجهر وتقدم الدراسات الخليوية أمكن، في داخل النواة، تمييزخلايا من عصيات صغيرة طرية مرنة دعيت بالصبغيات* (إذ أنه يمكن أن تلون بألوان أثناء تحضير الخلايا). وهكذا بدأ التركيز ينصبُّ على هذه الصبغيات، فتم إحصاؤها لكل نوع. تتواجد هذه الصبغيات بشكل أزواج، عدد هذه الأزواج يبدو مميزاً لكل نوع. ويمكن مشاهدة سلوكياتها أثناء التكاثر الخليوي: عندما تنقسم خلية إلى قسمين لتعطي خليتين، أثناء التكاثر الجنسي، عندما تتحالف نطفة ذكرية Spermatzoïde مع بويضة لإعطاء بيضة مخصبة... إلخ. يلاحظ أن الصبغيات تنفصل إلى أزواج أثناء التكاثر الخليوي، ولكنها تنضم أثناء الإخصاب. وإذا ما نظر إلى النموذج الوراثي بمزيد من التفحص والإمعان فإنه يتبين أن الصبغيات هي الحاملة للمورثات (المورثات الوراثية الشهيرة).

دعمت هذه الاكتشافات الرؤية التي رسمها ويزمان: هو الذي ميَّز عند الكائنات الحية ما يتلف ويباد، وهو يُرى ولكنه لا ينقل، *وأسماه الجسم Somo* (ومنه الصفة جسيمي Somatique)، عمَّا هو غير مرئي، مخبأ في قلب الخلايا داخل النواة، ولكنه ينقل من جيل لآخر ويسمى *المولد Germen*. يعطي الحلزون المضاعف لكل هذا معنى، ذكرناه من قبل. سنردده، إنه الصبغي، الذي هو سلسلة مضاعفة طويلة من الـــ ADN. على هذا الـــ ADN تتوضع تجمعات النيكلوتيدات بعضها بجانب الأخرى

* chromos تعني بكل بساطة اللون باليوناني، و Soma تعني جسماً أو شيئاً.

AGC... ATGC... إنها، كما تعلمون، أحرف أبجدية الوراثة. حيث تكون تتابعات بعض أحرفها أو مئات منها المورثات.

وهكذا فإن المورثات تكون متوضعة جيداً على امتداد الصبغيات كما اكتشفها الوراثيون التقليديون. بدأ بعضٌ منهم، بتجارب ذكية، حتى بوضع مصورات لبعض أجزاء الصبغيات. وهذا ما يتم فعله اليوم لفك الرموز ووضع خرائط للجينومات* بكاملها. بالطبع مع مزيد من الدقة والتوضيح.

انتصار الكيمياء

لوقت طويل، اعتبرت الدراسة الكيميائية للكائن الحي فرعاً مميزاً عن البيولوجيا، ونُظِرَ إليها كاختصاص منهك، أكيد ومفيد ولكن ليس مركزياً، أو رئيسياً. كانت هذه الكيمياء البيولوجية تبدو مميزة باعتبار أن جزيئات الكائن الحي هذه كانت خاصة جداً، لأنها تمتلك ما لم تكن تمتلكه الجزيئات الأخرى: **القوة الحيوية**. البرهان الأفضل على ذلك، هو أن جزيئات الكائنات الحية هذه كانت معقدة جداً. إنها مكونة غالباً من عدد كبير من ذرات الكربون، بنيتها معقدة ولا يؤمل رسم الصيغة الكيميائية لها على صفحة ورقة لشدة ما هي معقدة: في ذلك الوقت كان تصنيف المركبات الكيميائية معروفاً وتم سريعاً تمييز ثلاثة أنواع من "المواد الحية": البروتيدات (أي مجمل البروتينات)، الليبيدات (التي هي الشحوم) والفلوسيدات (التي يمكنها إعطاء السكر). وكانوا يميزون أيضاً السكريات، الحموض الأمينية... إلخ.

بعد ذلك، في عام 1828، نجح وهلر في المخبر، بتركيب البولة Urée، مما دعا للاعتقاد بأنه ربما برهن على أنَّ الكيمياء البيولوجية تنتمي

---

* الجينوم Génome هو مجموع الكروموزومات والمورثات لنوع من كائن ما. **المترجم**

إلى الكيمياء، وأن القوة الحية لم تكن لتوجد! مع الأسف، لم يكن شيئاً من هذا البتة. المدافعون اللدودون عن القوة الحية قرروا أن الكائن الحي مكون من مواد "عادية"، مثل البولة، والمواد الحية، التي وَحْدَها، كانت ذات الأهمية إزاء الحياة. وبقيت الأمور متمحورة حول فكرة كيمياء خاصة ـــ كيمياء الكائن الحي، الكيمياء الحيوية (البيوكيمياء Biochimie). بالطبع فإن التطورات اللاحقة للفيزيولوجيا، في أعقاب أعمال كلود برنارد بشكل خاص، سوف تعطي بعض البريق للكيمياء الحيوية ـــ مع دراسة الوظيفة السكرية الوراثية للكبد، لمرضى السكري. تمَّ لاحقاً الاكتشاف الهام للفيتامينات، بشكل خاص في الوقاية من الأمراض مثل داء الحفر Scorbut ـــ ولكنها مع ذلك بقيت هامشية.

في الجانب الآخر، في الستينات، وفي كلية العلوم في باريس، التي كان أمراء البيولوجيا الجزيئية لايزالون أسيادها، رُفِضَ انتخاب جاك مونو أستاذاً للبيولوجيا وهو في مجده العلمي، وأحد أعمدة البيولوجيا الجزيئية، ونال بعد عدة سنوات جائزة نوبل. بل إن هؤلاء الأسياد وجهوه إلى كرسي في البيوكيمياء في شعبة الكيمياء، على محيط باريس. وقام أحد الأساتذة الكبار في البيولوجيا حينذاك، الأستاذ ب. ب. غراسي، بالتحدث بازدراء واستخفاف عن "البيولوجيا الجزيئية" وجعلها موضعاً للسخرية. فما الذي بقي من الإنجاز العلمي لغراسي، بالمقارنة مع جاك مونو؟ العلم معركة صعبة وغالباً جارحة للمجددين والمبدعين. عندما يتم التأمل في المهن الجامعية الهادئة التي تمتع بها لاحقاً تلامذة مونو، علينا أن نتأكد أنه في فرنسا من الأفضل أن يكون المرء وريثاً لا رائداً أو مبدعاً بارزاً. وهذا صحيح أيضاً من أجل الوصول إلى المؤسسات والمعاهد الكبرى. فرنسا هي بلد يتمتع بذوق عالٍ، ولكنها تفتقر إلى رواد، أعلام تستكشف الفضاءات الجديدة.

كل شيء تغير مع قدوم الـــ ADN، فالكيمياء الماكروجزيئية، وكيمياء الجزيئات الكبيرة، إذاً، قد ترسخت في قلب الحياة، في مركز البيولوجيا، إذ أن السؤال، الذي فرض نفسه سريعاً هو ليس معرفـــة فقـــط كيف يخزّن الـــ ADN الترميز الوراثي، ولكن كيف يعاد توليد هذا الأخير، وأكثر من ذلك، كيف أن هذا الـــ ADN الذي يخزن المعلومة الوراثية، ومخطط التكوين والتشغيل للكائنات الحية سيترجم ذلك عملياً وسيصنع الأنسجة، الأعضاء، الأجهزة، الحيوانات والنباتات. كل ذلك هو تفاعلات كيميائية. الحياة هي الكيمياء. الآليات التي تحكم الحياة هي الآليات الكيميائية. وهكذا أصبحت الكيمياء إذاً العلم الرئيسي للكائن الحي والجزيئة العنصر الأساسي. تركيب جزيئات جديدة، تجمعات جزيئية، بناء من جهة وتدمير جزيئات من جهة أخرى، بقايا جزيئية غير قابلة للاستعمال، وملفوظة من العضو والجهاز، كل ذلك يشترك في آلة الكائن الحي الكبرى. الكائن الحي هو معمل كيميائي ضخم ومعقد، معمل ينتج الطاقة الضرورية للحياة. ولكنه، إضافة إلى ذلك، يعيد إنتاجه ذاتياً. وهذا التجمع من معامل كيمياء الحياة يتصرف على مستوى الخلايا.

كيف تحصل الخلايا على الطاقة الضرورية لتعيش وتتكاثر؟ كيف تنقسم؟ كيف ينقل الـــ ADN تعليماته؟ هذه هي الأسئلة التي ستكون قاعدة فهم آلة الخلية.

الخلية، معمل جزيئي وفضاء مصغر عن الكائن الحي

لفهم آلية عمل الكائن الحي، لايمكن الاكتفاء بالـــ ADN، ولابد من الأخذ بعين الاعتبار مركبين كيميائيين آخرين أساسيين: الإنزيمات والـــ ARN (NRA بالإنكليزية).

الإنزيمات هي بروتينات، يعتبر دورها البيوكيميائي حاسماً، فهي تسمح بحصول التفاعلات الكيميائية. بدونها ستكون هذه التفاعلات بطيئة للغاية أو أنها لا تحدث أبداً. إنها، كما يقول الكيميائيون، **محرضات Catalyseurs**، عوامل التفاعل الكيميائي: إنها وسيطات ضروريات، ومع ذلك، فهي لا تستهلك بالتفاعل الكيميائي. تسمح هذه الإنزيمات بتركيب البروتينات (اللحم كما يقال باللغة العامية)، وتسمح بتصنيع الأعضاء وبالإجمال، كل المادة الحية: عظام، عضلات، أعصاب... إلخ. إنها المورثات التي تحمل فيها أسرار تصنيع الأنزيمات لدرجة أنه اعتقد لوقت طويل أن المورثة تعني الإنزيم. كأن يقال: المورثة ــ الإنزيم.

الـــ ARN* هو جزيئة مشابهة للـــ ADN، يملك كما الـــ ADN رمزاً من أربعة نيكلوتيدات مختلفة (باستثناء أن الرابع ليس T وإنما U)، ولكنه لا يملك بنية حلزون مضاعف: جزيئته متطاولة. التيمين مستبدل باليوراسيل ــ من جهة أخرى فإن السكر هو من الريبوز Ribose، في حين أنه في الـــ ADN نجد ريبوزاً منزوع الأوكسجين Désoxyribose، مما يفسر وجود R بدلاً من D! ولكن كل ذلك هو بتقريب أولي، ثانوي جداً، إذ أن الخصيصة الأساسية للـــ ARN هي معرفة نسخ تتابع من نيكلوتيدات النواة. فالأمر إذاً يبدو كنوع من النسخ المستمر Xerox (انظر شكل 12. ملون). ذراع الـــ ARN، الحاوي طرفاً من رسالة الـــ ADN، سوف ينتقل حتى إلى داخل "العضيات"، المسماة جسيم ريبي ribosome (معمل بروتينات). يصل الـــ ARN، يعطي تعليماته ويصنِّع هذا الأنزيم أو ذاك حسب الطلب. إذاً الـــ ARN هو **رسول حامل Messager** تعليمات الـــ ADN.

---

* الحمض الريبي النووي. **المترجم**

عند الكائنات الحية الراقية التي يكون للخلية فيها نواة، أي الغالبية العظمى منها، فإن الـــ ADN يوجد في النواة ولكن "المعامل" التي تصنع الإنزيمات (الجسيم الريبي)، توجد خارج النواة: في السيتوبلاسما. **الرسول الحامل، الـــ ARN**، سوف يجتاز، بعد أن ينسخ جزءاً من الـــ ADN، غشاء النواة ليعطي الجسيم الريبي التعليمات الضرورية لصنع الإنزيمات. وهكذا فالجسيم الريبي سيصنع الإنزيمات التي، هي نفسها، ستسمح بتركيب البروتينات الضرورية للكائن الحي. هذا التجمع المعقد من الآلات هو الذي فك رموزه فرانسوا جاكوب وجاك مونو ومساعدوهما في معهد باستور في السنوات 1955 – 1960 ونالوا عن ذلك جائزة نوبل.

ولكن ليس هذا كل شيء. فقد بقيت نقطة خفية. فالبروتينات مركبة من تتابع من الحموض الأمينية، عددها عشرون. غير أنه لا توجد إلا أربعة نيكلوتيدات! كيف يمكن إذاً تحديد طبيعة الحمض الأميني في المكان الصحيح، بأبجدية من أربعة أحرف؟ إذا كانت تجمعات الأحرف مكونة من ثنائيات (4^2=16)، فذلك لن يكون كافياً، ولكن بتجمعات من ثلاثة أحرف (4^3=64) فإن ذلك يكفي بسهولة. الرسالة التي تسمح بتحديد طبيعة الحموض الأمينية، إذاً بصنع بروتينات بشكل متتابع، تكون مكتوبة بكلمات من ثلاثة أحرف. **الترميز الوراثي إذاً هو ترميز مكتوب بأربعة أحرف متشاركة بكلمات من ثلاثة أحرف.**

هذه هي إذاً الرسالة التي ينسخها الـــ ARN، انطلاقاً من الـــ ADN، ثم ينقلها خارج النواة ليصنع البروتينات. إذاً في العضيات، الجسيمات الريبية، سوف يتم تركيب البروتينات. فالجسيمات الريبية هي مصانع البروتينات. الـــ ARN ينقل لهذه الجسيمات الريبية تعليمات التصنيع. هذه

البروتينات هي من أنواع عديدة. بعضها له بنية تشبه ميوزين Myosine العضلة، بعضها الآخر من الإنزيمات. الإنزيمات هي العناصر الأساسية للمادة الحية. إنها تسمح، بالواقع، لهذه المادة بالقيام بتفاعلات لا تتم بدونها. إذاً هي ما نسميه المحرضات، عوامل التفاعل الكيميائي. كل التفاعلات الكيميائية للكائن الحي تتم بفضل الإنزيمات، تلك التي تشرك البروتينات كما السكر أو الليبيدات (شحوم)، الأوكسجين (تنفس) كما الهضم... الإنزيمات هي العناصر الأساسية لكل هذا المصنع الكيميائي الهائل الذي هو الكائن الحي. ومصانع الأنزيمات هي الجسيمات الريبية.

ولكن كيف يتم تنظيم ذلك؟ لا يكفي توفر بروتينات جيدة لصنع أنسجة أو أعضاء. إذ لابد من أن ينظم كل ذلك بشكل متناسق وصنع كائن حي يكون فيه كل عضو في المكان الصحيح... أين هو المهندس المعماري؟ كنا قد ذكرنا هذه الكلمة المسلية والعميقة لريمون بوانكاري: «كومة من القرميد لا تصنع بيتاً!» هنا يكمن السؤال. اكتشف العلماء وجود مورثات تنظيم، لا تصنع بروتينات جديدة، بل تسمح فقط (إذا ما تجرأت على القول!) بتنظيم البروتينات فيما بينها. بالطبع لازلنا بعيدين عن الفهم الكلي لهذا التنظيم الذي، انطلاقاً من البيضة، سوف يقود لصنع فأرٍ، فيلٍ، إنسانٍ لا فرق، ولكن على الأقل ندرك من هذا كله المبدأ، وكل ذلك على مستوى الخلية.

لكي تصل كل هذه الأنشطة إلى غاياتها بشكل سليم، ولتحريض التفاعلات الكيميائية، ونسخ الـ ADN في الناسخ الـ ARN، وهجرته إلى *الجسيمات الريبية*... إلخ. فإن الخلية بحاجة لطاقة. فمن أين تأتي هذه الطاقة؟ الجواب لايزال مختبئاً على المستوى الجزيئي. أعيد الدور الأساسي هنا لجزيئة معقدة، رُمِزَ لها بطريقة سهلة: ATP (أدينوزين ثلاثي الفوسفات Adénosine triphosphat). التنفس الخليوي هو إحدى الوسائل

لإنتاج الطاقة التي سيخزنها الـــ ATP. إذا ما كسرت هذه الجزيئة فإنها تحرر الطاقة القابلة للاستخدام من قِبل الخلية. وعند إعادة تشكلها فإن الـــ ATP يخزن الطاقة التي يستطيع توزيعها فيما بعد. كل هذه التفاعلات تتقلص بالواقع إلى تبادلات وتتابعات من الإلكترونات... إن ذلك كله يعكس نظام تخزين للطاقة الكهربائية بارع ودقيق! تبادلات الطاقة هذه وتصنيع الـــ ATP تتدخل في الأعضاء الخليوية الصغيرة، التي تدعى *الميتوكوندريات*.

الخلية إذاً هي مصنع كيميائي حقيقي مصغر حيث يتم تركيب جزيئات، وحيث يتم نقل المعلومة والكل تغذيه الـــ ATP بالطاقة. كل ذلك متناسق بشكل كمالي منظم، ومبرمج.

من البكتريا إلى الفيل

بالواقع، كل هذا التجمع من الآلات الدقيقة تم اكتشـــافه أولاً عند البكتريا، التي هي كائنات حية وحيدة الخلية، ليس لها نوىً. ولكنها مهيأة بشكل رائع للتجارب الوراثية، لأنها تتكاثر بكل الأشكال والمظاهر. البكتريا التي تعيش في أمعائنا الغليظة، والتي تدعى بالعامية، كوليباسيل Colibacille، وباللغة العلمية تدعى *إيشيرشياكولي Échirchiacoli*، كانت هكذا دعامة لتقدم الوراثة الجزيئية، في الوقت الذي سمحت فيه الدروسوفيل (ذبابة الخل) بإحراز تقدم كبير في الوراثة العادية. ثم بعد أن درست البكتريا، بُدِىءَ بدراسة الكائنات الحية الأكثر تعقيداً: الدود (النيماتودات Nématodes)، التي لها خلايا بنوى، ولكن عصياتها بسيطة جداً. ثم تبين أن منطق عمل البكتريات يمكن تطبيقه على الدود. وهكذا ففي السبعينات، بينما كان قد تم تحقيق تقدم هائل في فهم الكائن الحي، كان جاك مونو، أحد أبطال هذه الملحمة العلمية، يؤكد: ما هو صحيح عن البكتريا هو صحيح

بالنسبة للفيل، معلناً بذلك أنه تم تحقيق خطوة أساسية في فهم آلية عمل الحياة، وأنه انطلاقاً من معرفة هذه الآليات الخليوية، سيكون بالإمكان سريعاً فهم آلية عمل الحيوانات الراقية.

كتب بالإضافة إلى ذلك في "المصادفة والضرورة": "إن المقياس الميكروسكوبي للجينوم يمنع حالياً ودون أدنى شك، دوماً مثل هذه المناورات...". في هذا الوقت أدرك عالم كبير جداً إنهما رؤيتين مستقبليتين لعالم كبير كان قد ساهم في تأسيس فرع علمي، رؤيتين تبين أنهما خاطئتان جزئياً (كبرهان عما إذا كان على العلم أن يتقدم سريعاً!). من البكتريا إلى الفيل، الطريق طويلة، بل إنها طويلة جداً، ولم يجتزها العلميون، في حين تطلب اجتيازها من قبل الطبيعة 4 مليارات سنة. الآليةُ التي تقود لصنع كائن حي راقٍ معقد، انطلاقاً من خلايا متعددة، من أنسجة متعددة، من أعضاء متنوعة تبعاً للوظائف المختلفة، معقدةُ بشكل لامتناهٍ، أكثر من آلية عمل البكتريا، رغم أن كل هذا ينحدر من الـ ADN.

كتبت، منذ عدة سنوات، في *مقدمة لتاريخ طبيعي*، محاكياً بسخرية الأسئلة التي كان يطرحها بيير شامبون، في درسه في كلية فرنسا: «المسائل التي يجب حلها قبل تحويل أو إسقاط نتائج البيولوجيا الجزيئية على الأجهزة العضوية الراقية هي بالواقع مخيفة». فخلال تاريخ الانقسامات الخليوية تأتي لحظة حيث الخلايا الأخوات لم تعد مماثلة للخلية الأم، بل من طبيعة متنوعة: إحداها تصبح عصبية، أخرى تصبح عضلية، والأخرى خلية في الأنبوب الهضمي. كيف يتقرر التمايز؟ كيف "تعرف" هذه الخلايا وجود خلايا أخرى لكي تتجمع وتتعانق مع بعضها وتصنع مع بعضها نسيجاً ثم عضواً؟ ما هو الرمز الأكيد الذي يحدد شكل العضو، وبنيته الداخلية؟ كيف يمكن لبنية خطية وحيدة البعد مثل الـ ADN أن تتوصل لتحديد

سلسلة من الأشكال ثلاثية الأبعاد، أي أعضاء متعشقة بعضها داخل البعض الآخر؟ وأكثر من ذلك كيف يجتمع كل ذلك بكل هذه الدقة لصنع كائن حي، هو هذه الآلة التي تعمل ككل واحد؟ كيف أن كل خلية، كل عضو، كل وظيفة منسجمة في كل واحد؟ كيف لهذه المليارات من المصانع الخليوية أن تنتهي لتعمل سوية لتوليد جملة وحيدة تعيش بتجانس، أي أنها تستقبل من الخارج الطاقة والمعلومات، وبالعودة، فإنها تصنع المادة الحية، تبدد الطاقة وتتكاثر؟ هذا هو التحدي أمام بيولوجيا التطور وعلم الجنين الحديث الذي يسميه الحائز على جائزة نوبل جيرالد إيدلمان التموقع البيولوجي Topologie.

للتصدي لهذه القضايا، يوجد بتصرفنا اليوم تقنيات تناقض التنبؤ الثاني لجاك مونو. بعد أقل من خمس سنوات على صياغة شكوكه في إمكانية تركيب الجينوم، تمت المباشرة بأولى المناورات الوراثية، على أنه لا يتم دوماً قياس ما يمثل ذلك جيداً. فكيف يمكن التوصل إلى تغيير تتابع من مليارات النيكلوتيدات المصطفة بجانب بعضها على حلزونات مضاعفة بمقياس الأنغستروم ($1 A = 10^{-8}$ سم)؟ مثل هذه البسالة التي لا تخطر ببال بوسائل الفيزياء العادية (قواذف إلكترونية أو لازر)، تم تحقيقها بواسطة بكتريات تقطع سلاسل الـــ ADN في مواقع محددة، وأخرى قامت بوصل الأطراف المتقطعة. كل ذلك يعكس درجة التجريد التي يجب تطويرها للسيطرة على هذه الطرق. إذاً فضمن هذا الإطار من الآن فصاعداً، تدور المغامرة الكبرى للبيولوجيا الحديثة. مغامرة تستوجب الإعجاب والخوف معاً في آن واحد: تغيير وتحويل الـــ ADN، أي الحسم في قلب الحياة. أليست خارقة وعجيبة هذه المناورة مع الكائن الحي؟ أن يتعلم المرء تعويض المورثات الحاملة للأمراض الوراثية بمورثات سليمة؟ أن يتم

التوصل إلى استبدال الخلايا المريضة بخلايا سليمة، وفتح الباب هكذا لطب متجدد؟ أن يفهم أيضاً، بدون شك، ما يعني الموت، وتوقف الحياة!.

ما في داخلنا، خلايانا، نوانا، يخيفنا... لدرجة أن بعض أفلام الخيال العلمي مثل *المتنزَّه الجوراسي Jurassic Park*، جعلنا نعتقد أن كل شيء من الآن فصاعداً ممكن، لكن دون أن نطلق العنان لتطورات طويلة. لنقل بكل صدق شيئين: من جهة، من الواضح أن بعض الأسئلة الأخلاقية سوف تطرح مع تطور البيولوجيا. إنها أسئلة أساسية تمس المجتمع أكثر ممَّا تمسُّ البيولوجيين، وإنه لجميل أن تثار نقاشات جماهيرية كبرى. ولكن من جهة أخرى، ليس هناك ما يثير العجلة، لأننا بعيدون عن فهم كل شيء ـــ وإذاً نحن بعيدون عن أن نستطيع فعل أي شيء لا على التعيين مع الكائن الحي. ولابد من التذكير ببعض البديهيات: فأولاً، إن المتنزَّه الجوراسي غير ممكن تحقيقه واقعياً. الجسيم والمولد هما كينونتان منفصلتان، وهذا يعني أننا يمكن أن نأكل كيلوغرامات من الـــ ADN، من أي شيء كان، ولن يكون لذلك أي أثر على صحتنا، ولا بالأحرى على موطننا الوراثي الـــ ADN. عندما نأكل غذاء ساماً، فليس الـــ ADN هو الذي يسممنا، إنما المركب السام الموجود في الجسيم هو الذي يسمِّمنا. مع ذلك فقد سمعت أحد البيئيين يقول برهبة: «لن أجبر أبداً على أكل المورثات!» يفهم الآن جيداً مدى كون هذا التأكيد غبياً: لقد أكلنا دوماً مورثات وبدون ذلك لكنا متنا.

وهكذا فإن الـــ ADN للذرة المهجنة ليس لها أي تأثير علينا. وهذا من حسن الحظ، لأننا نأكل مليارات الكيلومترات من الـــ ADN الغريب كل يوم. كل ذلك يبرر، بدون شك، أن نستنتج استنتاجات أكثر فيما يتعلق بالبيولوجيا الحديثة. كيف يمكن المرور من بيضة مخصبة إلى كائن حي؟ إنها بيولوجيا

التطور التي تدرس ذلك. كيف تتصدَّى أجهزتنا للهجومات الخارجية، كالأمراض والالتهابات،... إلخ؟ إنه علم المناعة الذي يقدم لنا الأبجدية.

كيف وإلى أي مدى يمكن تفسير الجينوم للمعالجة أو الشفاء، أوالوقاية؟ هذا هو برنامج الطب الجديد. ولكن كل هذا يستند إلى معرفتنا الـــ ADN، والميكانيكية الخليوية. الحياة تعطي المفاتيح شيئاً فشيئاً لفهم آلياتها. ولكنها لم تعط (بعدُ؟) سرها. هذا السر الذي يسمح بالمرور من المادة إلى الحياة، من اللامنظم إلى المنظم، من الفلز إلى الحياة.

☙ ❧

11

الأرض ــ الموطن

تُعَدُّ دراسة الأرض، من أحد أقدم العلوم وأكثرها حداثة في آن واحد. أقدمها بالواقع، لأن الإنسان، دون شك، تساءل عن طبيعة الأرض، شكلها، حركتها، وضعها في الفضاء الكوني، منذ أن ظهر التفكير الإنساني المنظم. هذه التساؤلات هي التي كانت أصل ازدهار الفيزياء والهندسة. أيضاً هي إحدى العلوم الأكثر شباباً، لأنه يمكن القول أنه ليس منذ أكثر من خمسين سنة تقريباً (ربما سبعين سنة، أو أكثر قليلاً من ثمانين، نسبة إلى فيغنر، الذي يستحق ذلك بجدارة)، كونت علوم الأرض حقيقة، مجلدات من المعارف، جعلتها، من الآن فصاعداً، علماً مستقلاً استقلالاً كلياً.

كان لي الحظ، أن أعيش وأشارك وأن أحاط بهذه المغامرة الخارقة التي لم تنته بعد. لماذا هذا الإقلاع البطيء وهذا التردد؟ ثم لماذا هذا الصعود المفاجئ؟ تتقاسم علوم الأرض، علوم الفلك والبيئة أو علم السكان هذا العجز (؟) بأنها لم تستطِع الرجوع إلى الطريقة التجريبية في المختبر. بما أن، الخطوة العلمية الأولى تكمن تاريخياً بملاحظة ما يحيط بنا، فقد كان طبيعياً جداً أن ملاحظة الأرض والصخور، والفلزات، والمستحاثات، ولكن أيضاً البحر، والهواء، والمناخ جميعها مرتبطة ببدايات العلم.

ثم واعتباراً من غاليلي فإن العلم قد انتظم حول بعديه التجربة ــ النظرية. من هنا تطورت مغامرة الفيزياء الكبرى. مغامرة ضرورية، ليس ذلك فقط لتقدم المعرفة أو الفيزياء نفسها، ولكن أيضاً لعلوم الكون وعلوم الجيولوجيا، لأنه بدون السيطرة على علوم الفيزياء وفهمها، لا يوجد تفسير ســـببي. تلا ذلك علوم البيولوجيا التي عرفت تطوراً خارقاً، والتي، بالرغم من النتائج الخارقة التي تم التوصل إليها، لا تزال في بداياتها.

من هذا المنطلق، أمكن النظر أحياناً إلى علوم الملاحظة البحتة،كعلوم قديمة. بالرغم من ذلك، فمع قدوم الاستكشاف الفضائي، وتكتونيك الصفائح، وأيضاً مع بروز مشاكل البيئة، فإن علوم الملاحظة (الفلك، علوم الجيولوجيا، البيئة) أصبحت علوماً من الصف الأول، وإضافة إلى ذلك، أصبحت علوماً تاريخية ــ لها بُعدٌ كان يشكل عيباً قاتلاً للعلوم التجريبية في المخبر. علوم الفلك، كخلفية، هي تاريخ الكون، الجيولوجيا هي تاريخ الأرض، والبيئة تاريخ الحياة وتطورها باعتبارها "تعاونية منظمة" وعشاً لتطور الأنواع.

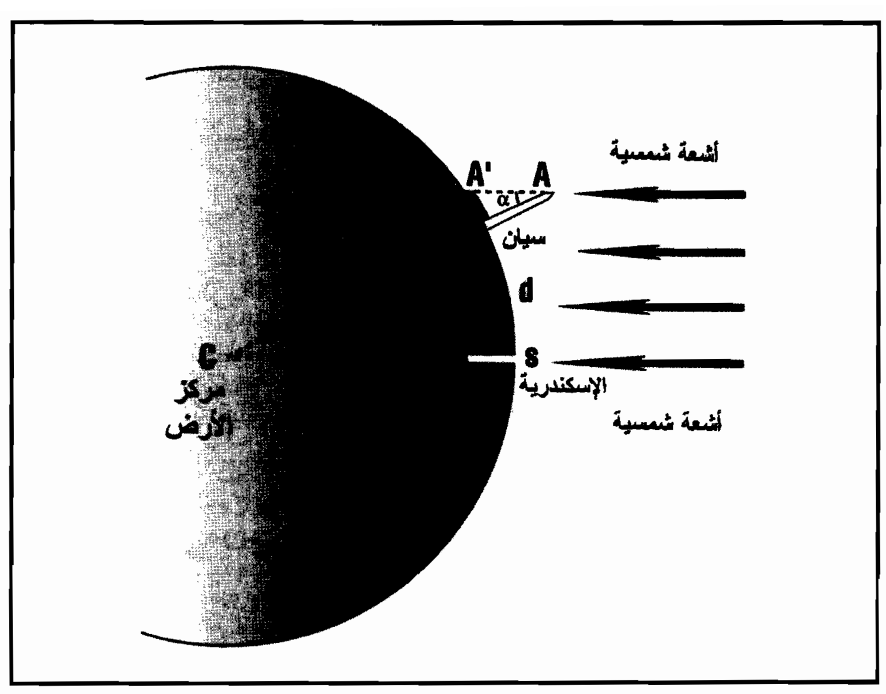
هذا التجديد لعلوم الأرض، كما عبر عنه ميشيل سيريس يكمن في أن القرن الحادي والعشرين سيكون قرن علوم الأرض. ولكن لست رغم ذلك متفائلاً جداً، ولكني أعتقد أن العلوم الجيولوجية ستكون بالفعل العلوم الأساسية لهذا القرن الجديد. إنها كانت بشكل خاص، دون أن نلمح ذلك دوماً، إحدى فروع العلوم الكبرى الجديدة في النصف الأخير من القرن الماضي. إني كتبت كثيراً من الكتب عن الأرض والعلوم التي تدرسها، ولا محل هنا لكي نقدم عرضاً تركيبياً لها. سأفضل مع ذلك محاولة أن أعرض من علوم الأرض ما معرفته ضرورية، من وجهة نظر ثقافية بشكل

أساسي، موجهاً القارئ الذي يرغب بمعرفة أكثر، إلى العرض الأكثر تفصيلاً في كتبي السابقة أو... المستقبلية.

شكل الأرض

الأرض دائرية، كل منا يعرف ذلك، مع تسطح بسيط في القطبين وانتفاخ ملازم لخط الاستواء. يبلغ نصف قطرها تقريباً 6400 كيلومتر ومحيطها 40000 كيلومتراً (هذا أحد أفضل الأرقام التي نعرفها). ولكن منذ متى نحن نعرف ذلك؟ الأرض مدورة، هذا أمرٌ نعرفه منذ زمن طويل. ولاعتماد مرجع مريح فإن أرسطو لم يكن ليشك في أن الأرض كانت مدورة. البحارة اليونانيون فهموا ذلك من رؤيتهم اختفاء المراكب عند الأفق، وأرسطو الذي كان يجعل الأرض مركز الكون، وكذلك مركز الكرات الثابتة،لم يكن يصعب عليه أن يحول ملاحظاتهم إلى نظريات.

بعد عدة قرون من ذلك، قام إراتوستين، في الإسكندرية، بقياس نصف قطر الأرض بالطريقة المثلثاتية التي عرضناها من قبلُ (انظر شكل 1.11). لاحظ في الإسكندرية، في الانقلاب الصيفي، أن الشمس تكون في السمت وتضيء قعر بئر، مما يشهد بأن أشعتها كانت عمودية تماماً على سطح الأرض. فقاس في اللحظة نفسها طول الظل الناجم عن مسلة سيان Syène (القريبة من أسوان الحالية). وبمعرفته بُعد الإسكندرية عن أسوان، فقد حسب نصف قطر الأرض كما هو مبين في الشكل المشار إليه. بالطبع فإن الصعوبة كانت في قياس بعد سيان عن الإسكندرية. لأن القياس في ذلك الوقت كان يتم عن طريق المشاة الذين تدربوا على المشي بخطوات موزونة وكانوا قد "عايروا" خطواتهم. وكانوا ينفذون المسار على مراحلَ جيئةً وذهاباً.



شكل 1.11

مخطط ترسيمي يوضح كيف قاس إراتوستين نصف قطر الأرض.

وجد إراتوستين قيمة قدرت، حسب الوحدات الحديثة، بـ 4600 كيلومتر، وهذا ما كان في ذلك الوقت مدهشاً وخارقاً بالنسبة للقيمة الحقيقية (التي هي 6400 كيلو متر كما تم ذكره). وانطلاقاً من هذا القياس سيتم تحديد قطر القمر ــ باعتماد قياس مدة مرور الظل الناجم عن الأرض أثناء خسوف القمر (انظر شكل 2.4)، ثم كما رأينا فيما يتعلق بنيوتن، تم حساب المسافة بين الأرض والقمر بالرجوع من جديد إلى مبدأ المثلثاتية. لقد تعلمنا جميعاً في المدرسة أن يونانيي الإسكندرية كانوا يعرفون أن الأرض كانت مدورة، ثم تلاشت هذه الفكرة، وفي العصور الوسطى تم التفكير بأن الأرض كانت مسطحة. حتى أنه قيل لنا أحياناً أن الملاحين الكبار، فاسكو دوغاما، ماجلان أو كولومب، كانوا قد قاموا برحلاتهم المحفوفة بالمخاطر في القرن السادس عشر للبرهنة على أن الأرض كانت مدورة.

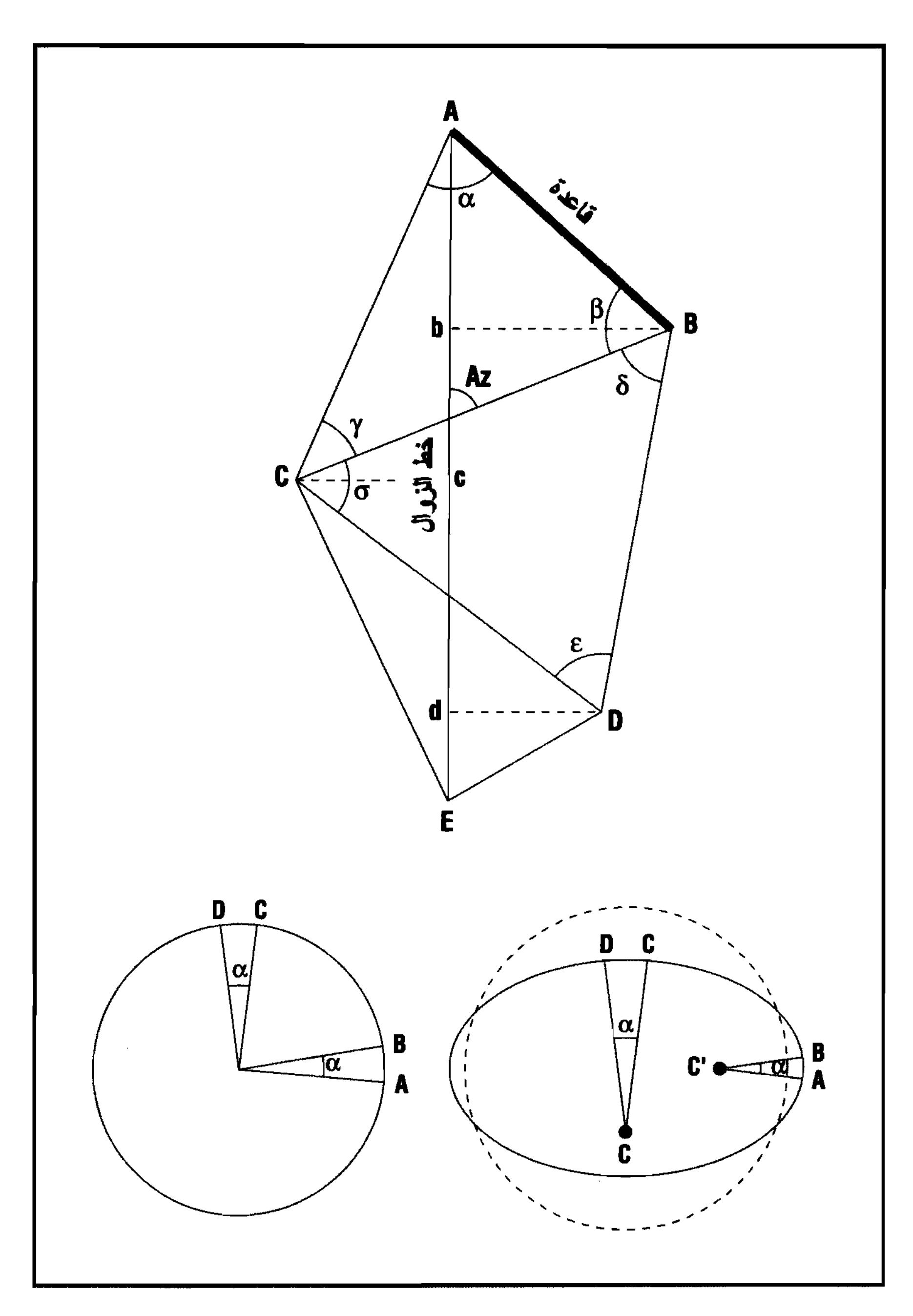
هذا الاعتقاد الشائع الانتشار ـ مع الأسف ـ هو خاطئ. فباستثناء دائرة صغيرة من دوائر عالَم الرهبنة، فإن دائرية الأرض كانت باستمرار مقبولة على امتداد العصور الوسطى. هذه هي النظرية التي يدرسَّها في السوربون كما في أوكسفورد نيكولا أوريسم، وفرانسيس باكون وكذلك هي التي يعتمدها البحارة*. ولكن ظل هناك من يعتقد، مع ذلك، بهذه الفكرة إلى أن جاء نيوتن وحلّ بنظريته هذا اللغز.

ستبقى فكرة إراتوستين أساساً لقياس نصف قطر الأرض. إذا كانت الأرض كروية، فإن مقطعاً زوالياً** يتوافق مع 360^o اعتباراً من المركز. إذاً، لحساب نصف القطر، يكفي أن نقيس تماماً طول قوس الدائرة الموافق لدرجة، وبالضرب بـ 360^o نحصل على المحيط الزوالي الذي، كما نعرف، يعادل ($2\Pi R$). ومن هنا الضرورة الملحَّة لقياس درجة أو عدة درجات لدائرة الزوال. لقياس المسافة الموافقة لدرجة من السطح الأرضي، فإن علميي القرن الثامن عشر، قد لجؤوا إلى طريقة أدقّ من طريقة المشاة بخطوات موزونة، إنها الطريقة المثلثاتية. تكمن هذه التقنية بقياس ـ أُذَكِّر بذلك ـ قاعدة مثلث أول بعناية، ثم تستهدف نقاط علام (جبال، أشجار، أجراس كنائس...)، حيث كل منها معلَّم بالزاوية المتشكلة بخط الاستهداف (اعتباراً من إحدى نقطتي القاعدة) والقاعدة نفسها. (انظر الشكل 2.11). بقياس الزوايا التي تصنعها اتجاهات هذه الأجسام المستهدفة اعتباراً من القاعدة، يمكن تحديد بُعد العلام عن القاعدة. بتطبيق هذه الطريقة تم في القرن السادس عشر تقدير نصف قطر الأرض بأكثر من 6000 كيلومتر، متجاوزاً بذلك تقديرات إراتوستين.

---

* انظر رودولف سيمك "كرة أم قرص، شكل الأرض"؟ في ، من أجل العلم، رقم خارج السلسلة: العلوم في العصور الوسطى، 2003.

** خط الزوال هو الخط الوهمي الواصل بين قطبي الأرض، والذي تقاس حسبه خطوط الطول. **المترجم**



شكل 2.11

مبدأ الطريقة المثلثاتية (في الأعلى) ومخطط ترسيمي يوضح التسطح في القطبين (في الأسفل).

نشب في منتصف القرن السابع عشر، حول هذا الأمر، نقاش محوره الأساسي المباشر هو تأرجح النواس، ولكن السبب الفعلي، هو الشكل الأكيد للأرض. النواس هو ثقل مربوط بخيط شاقولي، وعندما يحرض فإنه يتأرجح. كان غاليلي قد استخدمه كمقياس، وقام كريستيان هويغن بحساب دور تأرجح النواس، وبيَّن أن هذا الدور يتوقف على طول النواس، ولا يتوقف أبداً على الكتلة التي توجد في نهايته. وهكذا وضع أساس صناعة الساعات... وحقق أنه كي يتأرجح النواس كل ثانية يحتاج الأمر، في باريس، إلى خيط طوله 99 سنتيمتراً*.

في عام 1672، أكد الفرنسي جون ريشير، بعد مهمة إلى كاين في غويانا (منظمة ضمن إطار هدف آخر)، أن تأرجح النواس في كاين أكثر بطئاً من تأرجحه في باريس. وفي عام 1676 أعلن الفلكي الإنكليزي هالي، بعد مهمة إلى جزيرة سانت هيلين البركانية: «عندما نوجد على قمة مرتفعة، فإن تأرجح النواس أكثر بطئاً من تأرجحه في السهل». قام نيوتن مباشرة بتفسير هذه الملاحظات باستخدام نظرية الجذب الثقالي الأرضي. إذا كان تأرجُح النواس أكثر بطئاً في قمة جبل، فهذا يعني أنه أبعد عن مركز الأرض وبالتالي فالجذب أضعف**. وإذا تأرجح ببطء أكثر في الاستواء فذلك لنفس السبب. وهكذا فهم أن الأرض يجب أن تكون منتفخة في الاستواء ومسطحة في القطبين، وبالتالي فإن الأرض ليست مدورة.

في باريس، حيث تسود الأكاديمية الملكية للعلوم، كان المجتمع العلمي ديكارتياً، ضد نيوتن. الفعل عن بعد اعتُبِرَ دوماً غير ممكن، وفُضِّلَ عليه

---

* أي طوله تقريباً متر واحد. إذاً ثانية واحدة، متر واحد، أليس في الأمر غرابة؟ إنها طريقة لتحديد المتر.

** لا ننسى القانون الشهير المرتبط بمقلوب مربع المسافة ـــ كلما كانت R كبيرة (أي كلما ابتعدنا عن المركز)، كان الجذب ضعيفاً.

تيارات ديكارت. ولكن ذلك لم يمنع هويغن (المتمركز في باريس بصلابة، رغم أنه هولندي)، المعارض هو أيضاً لنظرية نيوتن، من القبول الفوري لفكرة التسطح في القطبين، التي عزاها (بحق) إلى قوة الطرد النابذة. ولكن بقية المجموعة، وخاصة مدير مركز المراقبة الفلكية والمناخية، في باريس، جون دومينيك غاسيني، بقي معارضاً لهذه الفكرة بعنف. بل إن غاسيني، مستنداً إلى قياسات جيوديزية نفّذها ابنه، أكد على العكس: أن الأرض ليست مسطحة في القطبين، ولكنها متطاولة نحو القطبين، كحبة زيتون أو كرة الركبي.

تطور الجدال بين الجمعية الملكية اللندنية، والأكاديمية الملكية في باريس، وأخذ منحىً عنيفاً عندما اتخذ، بيير – لويس مورو، من موبيرتوي Maupertuis في فرنسا، موقفاً لصالح نيوتن، مؤازراً بأجمل ريشة في ذلك الوقت ممثلة بشخص فولتير. على أن الموقف الذي اتخذته ماركيزة شاتولي*، الجميلة إيميلي دو بروتوي، عبر تعاطف روحي، ربما كان المسبب لهذا التحول المضاعف لهذين الرجلين. إنها ترجمت نيوتن إلى الفرنسية وعرفت كيف تقنع صديقيها، بأن عملها بئر من الحقيقة. في عام 1735 قررت الأكاديمية الملكية في باريس تنظيم بعثتين، كلفتا بقياس درجة قوسية في القطب، وعند خط الاستواء: إحداهما في لابوني Laponie والأخرى في البيرو**. وضعت البعثة إلى البيرو، تحت قيادة رجل متردد شكاك، هو لويس غودان (الذي طردته الأكاديمية عند عودته)، وتضم بعض

---

* الماركيزة هي صاحبة الترجمة الأولى (والوحيدة) لمبادئ نيوتن، من اللاتيني إلى الفرنسية.

** هي ما يعرف اليوم بدولة الإكوادور والتي كانت حينها تحت الهيمنة البيروفية (البيرو).

الشخصيات القوية مثل، بوغير، شارل ماري دولا كوندامين، جوزيف جيسيو، والجراح سونييرغ. لن نروي هنا الظروف، والقصص التي تعرضت لها البعثتان، ونكتفي باستخلاص النتائج منها.

اقتنعت موبورتوي سريعاً، بأن خط الزوال في لابوني، أقصر منه في باريس. البعثة إلى البيرو كانت أكثر روائية، وفي بعض تطوراتها مأساوية؛ وبعد تأخير كبير، توصلت إلى النتيجة (المكملة)، بأن خط الزوال، في خط الاستواء أطول منه في باريس. بعد عودة البعثتين، لم يعترف الديكارتيون مع ذلك بهزيمتهم، وأعلنوا أن القياسات الحقلية غير مقبولة لما يشوبها من كثير من الأخطاء. هنا غضبت موبورتوي، ودافعت بقوة، ولكنها ارتكبت أيضاً الكثير من الخروقات والرعونة: فقد قامت الأكاديمية الملكية بطرد ديكارت (كما غودان) حيث ذهب يختبئ في بروس عند فريدريك II.

اليوم، بالطبع، ليس هناك من نقاش. الكل قبل بأن الأرض مسطحة في القطبين وهذا التسطح مقدر بـــ 1/298 (كان نيوتن يقول بأنه 1/230، وهويغن 1/576)*. السبب في ذلك هو دوران الأرض، ومن وجهة النظر هذه، فكل من نيوتن وهويغن كان معهما الحق.

حركة الأرض:

الأرض تدور حول نفسها وحول الشمس. هذا معروف عند اليونانيين، من أتباع مدرسة فيثاغورث، فكرة أعاد استخدامها أريستارك ثم كوبرنيك، كبلر، غاليلي، وأيضاً نيوتن الذي صاغ لها النظرية الفيزيائية والرياضية. ومع ذلك فإن أولى البراهين الفيزيائية المباشرة، على أن

---

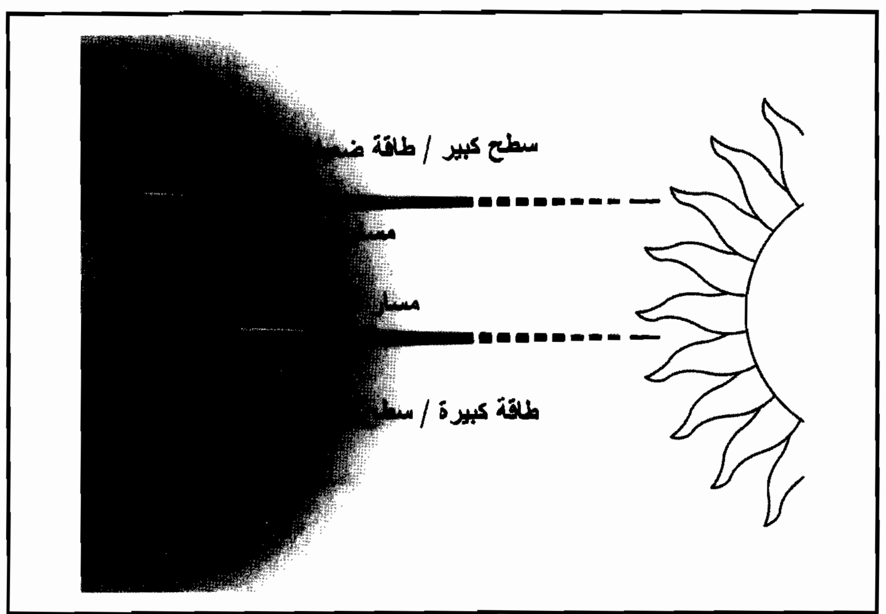
* بما أن نصف قطر الأرض المقاس، لنتذكره، حوالي 6400 كم، فهذا يقود إلى فارق أكبر بكثير من 20 كم بين نصف القطر في القطب وذاك الذي عند الاستواء.

الأرض تدور حول نفسها، كانت متأخرة بعض الشيء، إذ يعود تاريخها إلى التجربة الشهيرة التي قام بها ليون فوكو عام 1851، والتي كررها في احتفاء وأبهة رائعين، في البانتيون في عام 1852. هذا المجرب العبقري، الذي تجده يتنافس مع فيزو، لتحديد سرعة الضوء، استخدم النظرية التي برهن عليها نيوتن، التي بحسبها فإن الجذب المطبق على كتلة خارجية عن الأرض، يمكن أن يمثل بالجذب الذي تمارسه من قِبل نقطة واقعة في مركز الأرض، وتحوي كامل الكتلة.

إذا ما علق نواس خارج الأرض، وأزيح عن الشاقول، فإن المستقيم المكون من خيط النواس ومركز الأرض يحددان مستوىً. النواس سيتأرجح في هذا المستوى، باعتبار أنه لاتوجد أية قوة تحاول إزاحته عنه (بشرط أن تكون نقطة تعليقه طرية بشكل كافٍ). ولكن بينما يتأرجح النواس، فإنَّ الأرض تدور: وهذا ما لاحظه ليون فوكو لأنه جهز كرة نواسه برأس يخرش الرمل الناعم ــ إن أثر النواس على دائرة، مجسدة بنتوء من الرمل، سيجول من الغرب إلى الشرق. الفكرة قائمة على ملاحظات فلكية وبرَّرها رياضياً نيوتن، هي إذاً فيزيائياً وتجريبياً مثبتة. ولكن الدراسات اللاحقة ستبين أن هذا الدوران ليس بسيطاً.

إن محور دوران الأرض مائل بالنسبة لمستوى الكسوف (المستوى الذي تدور فيه الأرض حول الشمس)، وواقع أن تُوزّع الكتلُ داخل الأرض ليس متجانساً وأن الأرض قابلة للتشوه، يسمح بحصول تغيرات في محور دوران الأرض. هذه التغيرات يسببها بشكل رئيسي جذب الشمس، والقمر والكواكب الأخرى، وبالأخص الأكبر منها جميعها: المشتري. هذه التجاذبات "النيوتينية" ضعيفة بل ضعيفة جداً، ولكنها كافية لتغيير دوران الكرة الأرضية، وبالتالي شكل القطع الناقص، الذي تبعاً له تدور الأرض

حول الشمس. إذاً جملة تغيرات محور دوران الأرض كما في الجيروسكوب Gyroscope (ما يعرف بالحركة المدارية)، تغيراتُ شكل القطع الناقص لدوران الأرض حول الشمس، وتغيراتُ ميل محور الدوران على مدار القطع الناقص*، تقود إلى اضطرابات بليغة في الطريقة التي بحسبها تستقبل الأرض الطاقة الضوئية من الشمس (انظر شكل 3.11)، التي هي العامل الحاسم والرئيسي للمناخ الملائم، كما نعلم، لتطور الحياة.



شكل 3.11

مخطط ترسيمي يوضح أن الإشعاع الشمسي في القطبين أقل منه في الاستواء.

دورات ميلانكوفيتش

بين عامي 1920 – 1938، انصرف الفلكي اليوغسلافي ميلوتين ميلانكوفيتش، إلى حساب هذه الاضطرابات (يدوياً) لإضاءة أشعة الشمس

* كان الأطفال قديماً يلعبون بالدوامة ثم لاحقاً بالجيروسكوب. هذه الألعاب كانت توضح هذه الاضطرابات التي يمكن أن تؤثر على الأجسام الدائرة.

للأرض. حقق سلسلة من الدوريات الزمنية من رتبة 20000، 40000، 100000، 400000 سنة، معبراً بذلك عن العديد من دورات الإنارة.

وستكشف دراسة الرسوبات المأخوذة من المحيطات، الخصائص الحساسة بالنسبة لدرجة الحرارة (نسبة الكلس، نوع المستحاثات)، دوريات زمنية متوافقة مع حسابات ميلانكوفيتش*.

كان الجيولوجيون وعلماء المناخ قد قاوموا هذه الفكرة بعنف وضراوة. مع ذلك فإن قول ميلانكوفيتش كان صحيحاً. نظريته عن الدورات ثبت برهانها الآن في خطوطها العريضة، رغم بعض التعقيدات الصغيرة. وقد أكدت الملاحظات الجيولوجية بالفعل، في التفاصيل، هذه التوقعات.

المنـــاخ

إذا كان العامل الأول في المناخ فلكياً، فإنه ليس هو الوحيد. الغلاف الغازي الأرضي ــ الأتموسفير، يلعب دوره، هو أيضاً. يتكون هذا الغلاف من غازين رئيسيين: الآزوت (80%)، والأوكسجين (20%)، ولكن أيضاً من غازات أقل كمية مثل غاز الكربون وغاز الأوزون. تلعب هذه الغازات الثانوية دوراً كبيراً في تحديد المناخ. إنها تمتص، عملياً، إما الإشعاعات الشمسية المباشرة الواقعة في طيف الضوء المرئي، وإما الإشعاعات المنبعثة من جديد (وليست المنعكسة) من سطح الأرض والواقعة في ترددات الطاقة الأكثر انخفاضاً من قِبل الأتموسفير، وهو ما يعرف بأثر

* يمكن رؤية هذه الدوريات الزمنية الشهيرة لميلانكوفيتش "بقدم حافية" في الأودية البيضاء التي تسود الشواطئ على بعد عدة كيلومترات من أغريغونت Agrigonte في سيسيل Sicile.

الدفيئةeffet de serre*، بالتقابل مع العلب الزجاجية ـــ الدخيلة، ذات الأسقف المائلة التي تعكس الأشعة وتحفظها داخل الدفيئة.

على أن كمية هذه الغازات تختلف تبعاً لنشاط الأرض نفسها. وهكذا فالبراكين تصدر غاز الكربون. النباتات الخضراء، بالعكس، تمتص غاز الكربون بالظاهرة المعروفة بالتركيب الضوئي photosynthèse، والمحيطات تحل غاز الكربون، وتحله أكثر كلما كانت درجة الحرارة أكثر انخفاضاً. كل هذه المقوّمات تتحد وتتجمع لكي يُعمَل ويسود نظام معقد. فارتفاع درجة الحرارة، قليلاً لأسباب فلكية، يُحدِث تحرر الغاز في المحيطات وغازُ الكربون المتحررُ هكذا، يمتص أكثر قليلاً من الأشعة تحت الحمراء، ويرفع هكذا قليلاً درجة الحرارة التي تضخم الظاهرة وتكبرها. من جهة أخرى فإن زيادة غاز الكربون يحرّض التركيب الضوئي، وبالتالي يطور نباتاتٍ خضراء، مما يقود إلى امتصاص جديد لغاز الكربون، وانخفاضٍ لدرجة الحرارة. ولكن كل ذلك يتم بسرعة معينة ويأخذ وقتاً معيناً ومن هنا تحدث هذه التغيرات.

ما يعرف عن هذه التغيرات، أنها منذ أربعة ملايين سنة، ظلت الشروط العامة بحيث بقيت هذه التغيرات مقبولة من أجل الحياة على الأرض، وأن هذه الأخيرة لا تهدد لا بأن تصبح كوكباً مجمداً (مثل المريخ الآن)، ولا كوكباً حاراً جداً ـــ محرقاً (مثل الزهرة). يوجد إذاً منظم، معاير لدرجة الحرارة الأرضية ومناخها. وما يثير اليوم بعض الحماس العلمي كما السياسي، هو أن الإنسان، بحرقه الفحم والبترول، يحرر من غاز الكربون

---

* الذي يؤدي إلى تسخين الأتموسفير الأرضي من خلال تحرير بعض الغازات، كما يحصل في علب الزجاج التي تستنبت فيها نباتات بشروط بيئاتها. **المترجم**

ويزيد محتواه في الأتموسفير. إنه يزيد بذلك اصطناعياً أثر الدفيئة. في هذه الشروط فإن درجة حرارة الكرة الأرضية يجب أن تزداد، والمحيطات يجب أن تتمدد، والجليديات تذوب ومستوى البحر يرتفع.

هذه هي السيرورة ــ السيناريو، النظرية. ولكن حتى وقتنا الحاضر، فإن هذه التوقعات الكمية لم تتأكد بالملاحظة، حتى لو بدا أن المناخ مضطرب بالفعل ويتسخن فعلاً. وإذاً؟ النتيجة التي يقبلها الجميع الآن، هي أن فهمنا للمناخ غير كافٍ جداً...

كتلة الأرض

عندما نشر كافونديش تجربته الشهيرة لتوضيح القوة العامة للجاذبية التي تمارس بين كتلتين، فإنه وضع لها عنواناً "قياس كتلة الأرض". للقيام بذلك، قاس الجذب الذي تمارسه كتلتان إحداهما على الأخرى، باستخدام نواس فتل، وهي تجربة في غاية الصعوبة، ومع ذلك فقد حدد كوفانديش ثابت الجاذبية G، من الصيغة ($G\frac{m\,m}{r^2}$)، بدقة كبيرة ومدهشة.

منذ ذلك الحين أصبح سهلاً جداً حساب كتلة الأرض، بحساب التسارع الثقالي، والذي هو للعلم 10م/ثا^2. وهكذا وجد كافونديش كتلة الأرض 10.4^{27} غراماً*. بمعرفة حجم الأرض يمكن من ذلك استنتاج كتلتها النوعية** الوسطية، أي كتلتها في وحدة الحجم، وهي 5.5 غرام/سم^3. هذه

---

* القيمة المقبولة اليوم هي 10^{27} x 5.873 غراماً.

** يخلط غالباً بين كثافة وكتلة نوعية، بالرغم من أنه يعبر عنهما بالرقم نفسه في الجملة القديمة c.g.s (سنتيمتر، غرام، ثانية)، ولكن **ليس** في الجملة الحالية العالمية. الكتلة النوعية هي الكتلة مقسومة على الحجم؛ الكثافة هي الكتلة النوعية منسوبة إلى الكتلة النوعية للماء المعادلة لـــ 1غرام/سم^3. إذاً الكتلة النوعية للأرض هي 5.5 غرام/سم^3 (الجملة العالمية)، بينما كثافتها ببساطة هي 5.5.

النتيجة طرحت بقوة مسألة بنية الأرض، باعتبار أن كثافة صخور السطح ليست إلا 2.5. الواقع أنه كان لابد، من القبول بأنه توجد نحو مركز الأرض مواد كثافتها مرتفعة أكثر بكثير. ما هي هذه المواد؟ من الذهب؟ من الألماس؟ وعلى أية أعماق توجد؟.

بهذا القياس تم طرح أهم التساؤلات في العلوم الجيولوجية. كيف يمكن معرفة تركيب وخصائص قلب كرتنا الأرضية التي نصف قطرها 6400 كيلومتراً، بينما الحفر الأعمق يصل تقريباً إلى 15 كيلومتراً، وأننا نعرف بالتأكيد أن طبيعة (الكثافة على الأقل) المواد مختلفة في الداخل والخارج؟ عندما نستعرض، اليوم، بنية وتركيب الأرض العميقة، نصطدم دوماً بأساس من الشك كذاك الذي ترافق مع ظهور النظرية الذرية. فكيف يمكن التأكد منهما مادامت رؤيتهما غير ممكنة؟ العلم مع ذلك لا يقوم على التحقق النظري البسيط، حتى إذا كانت الرؤية المباشرة غالباً أساسية! أو، لمن يفضل، فإن هناك أساليب عديدة "لرؤية" الداخل من خلال إشارات ترسلها لنا ــ بشرط، بالطبع، معرفة قراءتها ــ الهزات الأرضية، الصبات البركانية، الثقالة الأرضية، المغناطيسية... كثير من الإشارات التي يجب التعلم على فك رموزها، والتي بفضلها نعرف من الآن فصاعداً بنية وتركيب الأرض.

الأرض اللامرئية

لن أدخل هنا في تفاصيل الأمور، ولن أشرح الطريقة التي نستخدمها لمعرفة داخل الأرض، بنيتها وتركيبها، لأن ذلك يشكل جزءاً من المغامرة الحديثة للعلم وسيتطلب تطورات تقنية معقدة جداً. ولكن تعالوا نستدعِ منها الجوهر. هذا الجوهر الذي طرحه شيرلوك هولمز: اجمع مؤشرات، ضعها

جنباً إلى جنب، اجعلها مترابطة، ضع سيرورة ممكنة، أي منسجمة مع قوانين الفيزياء والكيمياء.

ما هي مصادر المعلومات؟ علم الزلازل، أولاً. تُصدرِ الهزات الأرضية أمواجاً تجتاز الأرض. تستخدم هذه الموجات كما يفعل كل طبيب، باستخدام جهاز الإصغاء فوق الصوتي (السماعة). وهكذا نصغي إلى الأرض ونسمعها. البراكين، من جانبها، تصطحب من الأعماق موادَّ نحو السطح: تحلل طبيعة هذه المواد، ولكن نقوم أيضاً باستكشافات جيولوجية للأجزاء السطحية. ثم إنه توجد مؤشرات أخرى أيضاً لها قيمة كبرى لا تقدر. النيازك والمذنبات، هذه الأحجار التي تقع من السماء هي بمثابة رسائل عن اللحظات الأولى للمجموعة الشمسية. هذه الحجارة قد ضلت وتاهت في الفضاء منذ ذلك الوقت، مفلتة من جذب كل الكواكب، قبل أن تأسرها في النهاية الأرض. بدون هذه الشواهد فلا شيء كان ممكناً.

ولكن يجب إضافة، إلى كل ما سبق، دراسة الحقل المغناطيسي الأرضي الحاضر والماضي، التجارب المخبرية التي تم التفتيش من خلالها لتوليد الشروط الخارقة من الضغط ودرجة الحرارة (1 مليون ضغط جوي، 5000 درجة)، التي تسود في الكرة الأرضية حتى قلبها. وأيضاً، أيضاً بالطبع الكثير من البراهين والحسابات والتقاطعات. وما النتيجة؟.

الأرض لها بنية بيضة الدجاج. قوقعة قاسية، القشرة، تقسم إلى نوعين، محيطية وقارية، المعطف بسماكة 3000 كيلومتر من المواد الصلبة، تحيط بنواة سائلة يطفو فيها، في مركزها، حبيبة صلبة. المعطف والقشرة هما ذرات أوكسجين منضدة يتحقق تماسكها بواسطة السيليسيوم، تتشكل معاً من السيليكات. النواة، على العكس، مكونة من الحديد المعدني

السائل، وبفعل تيارات هذا الحديد المعدني السائل يتولد الحقل المغناطيسي الأرضي بفضل آلية لا نفهمها دوماً جيداً، ولكنها تنجم عما تحدثنا عنه من علاقات بين حقول كهربائية ـ حقول مغناطيسية، مُعَبَّرٍ عنها بمعادلات ماكسويل.

عمـــر الأرض

لم يطرح موضوع عمر الأرض على مدى وقت طويل. فكوكبنا يبدو أنه موجود دوماً بشكل مشابه له، والظواهر نفسها تتكرر منذ أزلية الزَمن الماضي وحتى أبدية المستقبل. وهكذا كان جيمس هيتون، مؤسس الجيولوجيا الحديثة، يؤكد:«لا أثر للبداية، لا مؤشرات عن النهاية». وأول من طرح، بشكل واضح، موضوع عمر الأرض هو الفيزيائي لورد كلفن حوالي 1850. كان قد تم حينها قياس ارتفاع درجات الحرارة عندما نغوص في باطن الأرض، الظاهرة التي يعرفها عمال المناجم منذ الرومان. أكد لورد كلفن مستنداً إلى أعمال جوزيف فورييه حول انتشار الحرارة، أنه إذا كانت درجة الحرارة ترتفع مع العمق، فذلك لأن الأرض تتبرد وتفقد حرارتها. بعد إجراء حساباته أعلن أن الأرض كان عمرها 100 مليون سنة. كذلك، باعتبار الطاقة الضوئية المنبعثة (والمفقودة إذاً) من الشمس، فإنه حسب أيضاً عمرها ووجده 100 مليون سنة.

الجيولوجيون اعترضوا بالإجماع: 100 مليون سنة، كان ذلك يعبر عن حداثة كبيرة جداً. الأرض أكثر شيخوخة! كان من بينهم شارل ليل، وأيضاً آخر اسمه شارل داروين، جيولوجي كما بيولوجي، كانا الأكثر احتداداً وتحمساً من بين المعارضين للورد كلفن. لم يكن لديهما كثير من الحجج الكمية الصلبة للاعتداد بها، كان لديهما نوع من الإدراك، لاستطالات جريئة قائمة على

ملاحظة سرعة حتّ الصخور، أو تراكم الرسوبات في البحر أو البحيرات. وكانا يتحدثان عن مليارات السنين، مما بدا هائلاً وحتى غير معقول، ومع ذلك كانا على حق!.

البرهان على "خطأ لورد كلفن" جاء نتيجة لاكتشاف الإشعاعية. فقد بين، بالواقع، كل من بيير كوري ولابورد في عام 1902، أن الإشعاعية تطلق حرارة، وفهما سريعاً أن هذا الاكتشاف يقتضي وجود منبع كائن في تفكك العناصر المشعة (يورانيوم، توريوم، بوتاسيوم)، موزعةً في الصخور، وقد توصّل رازيرفورد إلى البرهان نفسه بشكل مستقل عنهما. من خلال، إحدى التبادلات التي تعارض فيها لورد كلفن مع ليل، في الجمعية الجيولوجية اللندنية، قال لورد كلفن لليل: «كي يكون حسابي غير دقيق، يجب أن تحوي الأرض بداخلها منبعاً حرارياً». أجابه ليل: «ولماذا قد لا تحوي ذلك؟» فأجاب لورد كلفن: «بهذا النوع من الأفكار يخترع المحرك الأبدي».

ومع ذلك فإن حدس ليل كان دقيقاً. فالأرض تتضمن منبعاً حرارياً أبدياً: الإشعاعية. تراجع، لورد كلفن، المُعمَّر جداً، بروح رياضية، أمام النجم الصاعد من الفيزياء البريطانية، إرنست رازيرفورد، أثناء محاضرة لهذا الأخير ألقاها أمام الجمعية الفيزيائية الإنكليزية، حيث تحدث عن مليارات السنين عُمراً للأرض. كان عمر الأرض، إذاً، من مرتبة مليارات السنين، ولكن كم هذا العمر بالضبط؟ كيف يمكن تقديره أو حسابه؟ إنها الإشعاعية أيضاً التي ستسمح لبيير كوري من جهة، ولإرنست رازيرفورد من الجهة الأخرى، اثنان من كبار أبطال مغامرة الإشعاعية، بالتوصل إلى الجواب.

كما أسلفنا، فإن التفكك الإشعاعي يحصل بانتظامية الساعة، إذ يتفكك نظير مشع بانتظامية مطلقة، بحيث لا يمكن أن يحصل أي اضطراب: لا درجة الحرارة، لا الضغط ولا الصفة الكيميائية التي يوجد بها. يمكن تسخين الراديوم حتى أن يسيل، يمكن حله، يمكن تبخيره، يمكن إخضاعه للضغوط الأكثر ارتفاعاً، باختصار يمكن إخضاعه للشروط القصوى، ومع ذلك فلا شيء من كل هذا يؤثر على إشعاعيته. يتفكك الراديوم بشكل غير مضطرب، غير متأثر بشروط محيطه.

الإشعاعية، كساعة رمل. يكفي معرفة العنصر الذي يتفكك، والعنصر الثابت الذي ينجم عنه. لكي يكون مقياس الوقت الجيولوجي قابلاً للاستعمال، لابد أيضاً من وجود مواد إشعاعية لا تتفكك بسرعة كبيرة وتكون ميزاتها ملائمة على مدى الزمن الجيولوجي. لحسن الحظ فإن ذلك متوفر، وهذه المواد هي اليورانيووم، والثوريوم، ولكن أيضاً البوتاسيوم والروبيديوم بين موادَّ أخرى. وهكذا يكون بتصرفنا أداة ممتازة لقياس عمر الصخور، إنها الفلزات، أي الوقت الذي لزمها حتى تشكلت وتبلورت. إنها الأداة التي كانت تنقص الجيولوجي. هذا المؤرخ للأرض لم يكن لديه أية وسيلة لصياغة تسلسل زمني chronologie للأحداث الجيولوجية.

بالتأكيد كان يعرف أن طبقة تغطي أخرى، هي أحدث من التي تغطيهـــا، وبفضل هذا المبدأ، تم وضع تسلسل زمني نسبي. بفضل المستحاثات، أمكن تقسيم الزمن الجيولوجي، إلى عصور: الأول، الثاني، الثالث، الرابع، ثم كل عصر إلى طوابق، فقسم الأول إلى كامبريان، أوردوفيسيان، سيلوريان، ديفونيان، كربوني، برميان...إلخ. ولكن كل هذا كان نسبياً. فلم يكن معروفاً مع كم من الوقت تتوافق العصور الجيولوجية. بالمحصلة، فإن الجيولوجي كان تقريباً كمؤرخ، يعرف أن نابليون جاء بعد

لويس الرابع عشر وبعد فيرسينجيتوركس، ولكنه لا يعرف الفواصل الزمنية التي تفصل هذه الفترات.

هكذا، غدا علم التسلسل الزمني المطلق، ثورة كبرى للجيولوجيا التاريخية، أي لجيولوجيا الأزمان القصيرة المدى، عندما نعلم أن كل شيء هو تاريخي بالنسبة للجيولوجي. هذا العلم يضبط إيقاع تاريخ الأرض في لوحة مهيبة رائعة. الصخور الأكثر قدماً لها من العمر 4 مليارات سنة تقريباً. الكائنات الأولى المنظمة التي يمكن التعرف عليها ظهرت منذ 550 مليون سنة، ولكن أولى الأشنيات توجد منذ 3.4 مليار سنة. تطلب الأمر إذاً انتظار 3 مليارات سنة للتأكد من حياة كانت قد ظهرت، مع ذلك، سريعاً. 3 مليارات سنة كانت ضرورية للتطور من أجل إيجاد بداية الطريق...

أما العصور الجيولوجية، فقد تم تحديدها بتخيل فترات تقريباً متساوية. دام الأول، 300 مليون سنة، الثاني 150 مليون سنة، الثالث 60 مليون سنة، والرابع 4 ملايين سنة. إن رؤيتنا العادية كانت كأنها مشوبة بقصر نظر شديد. والإنسان متى ظهر؟ منذ 4 ملايين سنة، 5 أو 6 ربما، بالمقابل مع أربعة مليارات سنة لأولى الصخور، هذا قليل! باختصار فإن التسلسل الزمني لمراحل التطور البيولوجي، كانت تتضمن التطور المنتظم، المتجانس، الإيقاعي الذي لم يكن ليأمله أحد ما. فنحن بصدد تطور طويل، طويل جداً، فوضوي، حيث سادت بشكل خاص الاحتمالات والتوقعات والتخمينات. المصادفة والضرورة.

وعمر الأرض؟ كما الشمس، فإن الأرض عمرها 4.5 مليار سنة. تحديد هذا العمر كان عملية دقيقة جداً لم تكن ممكنة إلا بمساعدة الشهب والنيازك. سيبقى اسم كلير باترسون مرتبطاً دوماً بهذا الاكتشاف فهو بمثابة

الأول من كانون الثاني، بالنسبة لتأريخنا الجيولوجي. اعتباراً من ذلك، فإن الفيزياء النووية سوف تقتحم علوم الأرض، موحية بفرع جديد، سيدعى الجيولوجيا النظائرية أو الجيولوجيا النووية، وهذه بحد ذاتها قصة أخرى.

الأرض الديناميكية

الاستنتاج الأكثر أهمية، بدون شك، لصياغة هذا التسلسل الزمني الإشعاعي، أنه سمح باستكشاف ديناميكية الأرض. معروف منذ وقت طويل أن سطح الأرض كان خاضعاً لتحولات هامة. دمرت التضاريس، وتم حتَّها، وتعريتها وتدويرها بالرياح والأمطار. المواد الناتجة حملت بالأنهار حتى البحر. هذه الجزيئات تقع في القاع لتكوّن الرسوبات. ومعروف أيضاً أن هذه التحولات تنتج عن الدورة المائية، تبخر فوق المحيط، غيوم، انتقال، أمطار، جريان ومن ثم عودة إلى المحيط. ومعروف أيضاً أن الأتموسفير منشط ومثار بحركات سريعة (حتى عنف تيارات التورنادو)، وأن المحيطات كانت مقراً لحركات سريعة مصدرها السطح، وأبطأ عندما يتعلق الأمر بتبادلات بين القاع والسطح.

ولكن لم يكن معروفاً أي شيء، مما يتم تحت أقدامنا. البعض كان يشك بوجود نشاط أرضي داخلي، يتظاهر من وقت لآخر بالأحداث غير المنضبطة التي هي الاندفاعات البركانية، في قمة الجبال الحادة كما كان يسميها بيفون، أو الهزات الأرضية. ولكن ما هو منطق كل هذا؟ كانت هذه الأحداث تبدو فظّة، فوضوية وغير قابلة للتوقع، إلى أن اكتُشف تكتونيك الصفائح في السنوات 1960 – 1970، الذي أعطى معنى وحبكة للنشاط الداخلي كما يرى من السطح.

هذا الاكتشاف، الذي أحدث ثورة في علوم الأرض، لم يكن وليد هذه السنوات فحسب، إذ أن ألفريد فيغنر في عام 1910، كان قد عرض نظرية

انزياح القارات. غير أن أحداً لم يكن ليعتقد بعالم المناخ الألماني هذا، الذي قدم حججاً وبراهين على إعادة بناء شواطئ القارة القديمة غوندوانا، من جانبي الأطلنطي، والتي كانت مع ذلك صلبة. ثم كانت في عام 1960 استكشافات المحيطات التي دفعت العلماء للاهتمام بالبنية تحت البحرية الخاصة: الأعراف المحيطية. فهذه التضاريس تحت البحرية ذات الشكل المتطاول، التي تقطع كل محيطات الأرض كخط ضخم، لها أصل بركاني. إنها براكين مستمرة. ولكن لأنها واقعة على عمق 1000 متر تحت البحر فإننا لا نراها. هذه البراكين، أو بالأحرى، صباتها تكون أرضية المحيطات، وهذه الأعراف تختص بشكل رئيسي بصنع هذه الأرضيات. من أجل استكشاف ذلك كان لابد من حيازة طرق جيولوجية أصيلة جداً: المغناطيسية القديمة.

معروف منذ ويليام جلبرت، أن الأرض مسلحة بحقل مغناطيسي من أصل داخلي. وهذا ما تم اكتشافه حوالي العام 1910، بتحريض من العالمين الفرنسيين ميركانتون وبرينهيس. فعندما تتبرد صبة بركانية فإنها تثبت اتجاه الحقل المغناطيسي الذي تبلورت ضمنه. هكذا تصبح الصبة مغناطيساً صغيراً يحفظ الذاكرة المغناطيسية. على أن هذه الذاكرة تدلنا على وجود ظاهرة خارقة اكتشفها برنارد برينهيس، الذي كان يعمل في مركز المراقبة الجوية والفلكية في كليرمونت فيراند*: إن الحقل المغناطيسي الأرضي انقلب في الماضي. في لحظات معينة يصبح القطب الشمالي، القطب الجنوبي والعكس بالعكس.

هكذا عندما نقيس الحقل المغناطيسي الحالي فوق امتداد لصبات بركانية فإن الحقل القديم المسجل في الصبة يضاف أو يطرح من الحقل

---

* مدينة في جنوب فرنسا – قريبة من الكتلة المركزية الفرنسية. **المترجم**

الحالي حسبما يكون الحقل القديم الباقي في الذاكرة مماثلاً أو مخالفاً. عندما "نمسح" الحقل المغناطيسي الأرضي في المحيطات، نتبين من جانب وآخر، من الأعراف (النهوضات الجبلية)، أن الحقل يتذبذب. فهو تارة أعلى مما كنا نتوقعه، وتارة أقل. ولكن الأغرب أيضاً، هو أن هذه الأسنمة وهذه التقعرات تبدو على السجل متناظرة بالنسبة للعرف. إنها ترسم أشرطة بالنسبة لها. على أنه ذكر من قبل، أن أرضية المحيطات مكونة من صبات بازلتية، اندفعت من مركز العرف نفسه، فوق قمته. من هنا جاءت فكرة "قشرة الزرد*" التي ترسمها السجلات المغناطيسية، التي تعكس الحقول المغناطيبسة القديمة، المحفورة من جانب وآخر مع مرور الزمن.

جاءت هذه الفكرة إلى فريد ڤين، الطالب الذي يحضر أطروحة في كامبردج، بينما كان في مهمة في المحيط الهندي، حيث كان يوجد على الباخرة نفسها، طلاب آخرون أصبحوا أمجاداً في علوم الأرض مثل دان ماك كنزي وجون سكلاتر. مدير أطروحة ڤين، ماتيوس، كان آنذاك في رحلة زواج. ڤين، الذي أدرك أنه وضع اليد على كنز من ذهب، لم يعرف كيف يتصل به، دون أن يوقظ اهتمام رفاق دراسته الذين يعلم أنهم أذكياء، سريعون وطموحون، وفي الوقت نفسه فالاحتفاظ بفكرة كبيرة هادفة لنفسه في وسط مغلق مثل الباخرة، دون أن يُعلِمَ بها أحداً، هو بحد ذاته اختبار صعب. لكن ڤين تجاوز ذلك، فبعد تفكير أبرق لمديره ماتيوس، الذي اقتنع آنياً بالفكرة. وهكذا ولدت "الشواذات" المغناطيسية عند ڤين وماتيوس، ومعها نظرية توسع قاع المحيطات**. القياس المطلق لانقلابات الحقل المغناطيسي،

---

* peau de zebre: جلد منقط نسبة إلى حمار الوحشي. **المترجم**

** expansion des fonds océaniques = Sea floor spreading **المترجم**

سمحت. مباشرة بقياس سرعة ظاهرة التوسع، التي قدرت بسنتيمتر واحد في السنة. إنها السرعة التي تشكل بها المحيط الأطلنطي. وهكذا فإن عصراً جديداً انفتح أمام الجيولوجيا. وسنرى أن هذه النظرية سوف تُطوّر بعد عدة سنوات إلى نظرية تكتونيك الصفائح الشهيرة، التي يشترك معها انزياح القارات (انظر شكل 13، ملون).

تقسم الكرة الأرضية إلى صفائح صلبة تبرز في الأعراف، وتختفي في المعطف على مستوى الحفر المحيطية الكبيرة، التي نسميها حفر الغوص. تخضع تصرفاتها إلى قواعد الهندسة الكروية. القارات، التي هي بمثابة أجزاء من الفلين محصورة في الصفائح، لا تبتلع مجدداً في المعطف أبداً، إنها تنزاح كما قال فيغنر، تتكسر، تلتحم، تدخل في صدامات، ولكنها تبقى على سطح الأرض. المحيطات حديثة وعابرة، بينما القارات، بالمقابل، قديمة وتحمل ذاكرة الأرض.

ستصبح النظرية، نظرية تكتونيك الصفائح، الإطار لكل المحاكمات والبراهين الجيولوجية، وبالتالي لصياغة مبدأ عام، يتلخص بأن موقع الجيولوجيا يجب أن ينظر له على مستوى الكرة الأرضية. هذا الأمر سيقلب آفاقها المستقبلية، وهو مدهش إذا تحقق، إذ أن موضوعه هو الأرض بكاملها، مثلما أن الحياة هي موضوع البيولوجيا. مادة الدراسة ليست، لا الصخر، ولا المجموعات الرسوبية، لا منطقة ولا حتى قارة، كما اعتُقِد تقليدياً على مدى طويل، مادة الدراسة هي الأرض نفسها: المقصود هو معرفة تاريخها وفهم سلوكها. وصفنا في أماكن أخرى، المعارك، الانقلابات والتغيرات، وجراح الحب الخاص أيضاً، التي ارتبطت بالقبول الصعب بهذه النظرية من قِبل الجماعة العلمية، حيث أن كينونة إنسانية قبلت بصعوبة التشكيك بكل ما كانت تعتقده معرفة مكتسبة...

المرحلة التالية تركزت على فهم الأسباب. لماذا تتحرك هذه الصفائح التكتونية؟ يقود هذا السؤال إلى إيضاح أن حركات السطح ليست إلاَّ ترجمة وانعكاساً لحركات الداخل. ولكن كيف يمكن لهذا المعطف الصلب أن يتشوه كسائل؟ يبدو ذلك، للوهلة الأولى، غير ممكن. أما الجواب فهو أيضاً وأيضاً الزمن، الزمن الجيولوجي. فمع ملايين السنين، تتحول الحجارة الأقسى، إلى عجينة قابلة للتشوه، بفضل فيزياء لا تصادف بشكل دائم آثارها، ولكن نفهمها بشكل أفضل فأفضل. وهكذا فجميع الأغلفة الأرضية هي في حركة (الشكل 14، الملون). النواة التي تخلق الحقل المغناطيسي، المعطف الذي يحرض تكتونيك الصفائح، وبالطبع المحيط والأتموسفير. **الأرض هي حقاً كوكب حي.** اليوم، عبر التفتيش عن فهم أصل وحركة مختلف الأغلفة نتساءل عن العلاقات البينية لهذه الأغلفة.

الجملة ـ الأرض

في اللغة العلمية الحديثة، يتم الحديث عن جملة عندما يتعلق الأمر بمجموعة من الظواهر مرتبطة ببعضها بعضاً، وتكوّن شبكة أفعال متبادلة. ولكي يشار إلى أنه لا يقصد بذلك بنية ساكنة، جامدة، ولكن بنية تتبادل عناصرها فيما بينها وتتطور، يقال جملة ديناميكية. وهكذا فالكائن الحي هو جملة ديناميكية ـ كأن نفكر بالتأثيرات المتبادلة لمختلف الأعضاء ومختلف الوظائف. والأمر نفسه بالنسبة لاقتصاد بلد ما، اليوم الاقتصاد العالمي هو جملة ديناميكية تتبادل، تحول وتنقل هذا "الجوهر" الخاص الذي نسميه النقد.

لفهم هذه الجمل الديناميكية، طوَّر العلم الحديث مفاهيم وطرق دراسة مستندة بقوة إلى النماذج التمثيلية باستخدام الحواسيب. السؤال المركزي الذي نطرحه على أنفسنا اليوم هو التالي: هل الأرض هي جملة ديناميكية

شاملة؟ ما هو مدى التداخلات المتبادلة بين الأغلفة؟ بالتأكيد فإن الأتموسفير والمحيط يؤثر كل منهما على الآخر، ومن خلال هذا التأثير المتبادل المحرض والمنشط في الشمس يتولد المناخ.

بالتأكيد فإن تكتونيك الصفائح هو في علاقة قوية مع المعطف وحركاته، لدرجة أنه يُشَكُّ اليوم بأن عمل كل من المعطف والنواة مرتبط كلٌّ منهما بالآخر. ولكن هل هذه الترابطات هي أيضاً عامة؟ وعلى سبيل المثال: ما هو التأثير الدقيق للاندفاعات البركانية على المناخ؟ هل ترتبط انقلابات الحقل المغناطيسي الأرضي بالاندفاعات البركانية؟ ألا يتأتى الألماس من الصخور الكلسية التي ابتلعت من جديد في المعطف، وتحولت بالضغوط العالية؟.

غـــيـــا

بالطبع هناك تداخل أساسي، رئيسي وخاص بالأرض، ذاك الذي، يمارسه الغلاف الحيوي (البيوسفير) مع كل الأغلفة الخارجية. البيوســفير (الغلاف الحيوي)، هو مجمل كائنات الأرض الحية، المعتبرة ككل واحد، كرقاقة من المادة الحية الممتدة على سطح الأرض. كيف يمكن لنمو الحياة، وتوزعها، وتطورها أن يغير أو يحرض تطور الخزانات على سطح الأرض. معروف بالطبع، أن التركيب الضوئي اليخضوري يغير ويحول دورة غاز الكربون، ومعروف أن الأوكسجين صار غازاً هاماً في الأتموسفير ــ حدث ذلك منذ ملياري سنة ــ وهكذا قاد كل هذا إلى تعكير ديناميكية الأرض. النباتات التي تتنفس، ثم الحيوانات، استطاعت أن تتطور. القارات غطيت بالخضراوات وصارت خضراء، الأرض التي كانت حمراء وزرقاء صارت خضراء وزرقاء ــ مع قليل من اللون الأصفر (النطاقات الصحراوية).

نعلم جيداً أنه بمناسبة الكوارث الكواكبية (فضائية وبركانية) فإن مناخ الأرض تدهور فجأة محدثاً تغيرات هامة في التجمعات الحيوانية والنباتية. تطور الأنواع، العزيز على داروين، لم يتم حسب إيقاع واحد، بل إنه تقطع بفترات راحة وتسارع فجائية. البعض يتصور، ضمن هذا الإطار، أنه عند حصول انقلاب الحقل المغناطيسي الأرضي، فإن الأرض تكون آنياً غير محمية بطوقها المغناطيسي، من فعل الجزيئات المشحونة القادمة من المجرات. هذه الجزيئات يمكن لها أن تحدث تتابعات من الطفرات البيولوجية. ربما...

أخيراً، هناك فرضية أيضاً أكثر جاذبية، ولكنها ليست معتمدة أكثر من الأخرى، هي فرضية غيبا... يرى الباحث الإنكليزي لوفيجوا، أن المعاير الأرضي سيكون البيوسفير بكامله. فإزاء تغيرات مناخية، فإنه سيتفاعل بحيث يعمل على إعادة الجملة إلى حالتها الأولية، معطياً دوراً للنباتات الخضراء، ودوراً أكثر أيضاً، للبكتريا التي نجهل، أكثر فأكثر، دورها الرئيسي في الجيولوجيا. البيوسفير سيكون المنظم الأساسي، السبب في الحفاظ على"توازن" المناخ الأرضي، ربما...

الإنسان ــ عامل جيولوجي

ولكن في قلب البيوسفير، يجب أن نميز منذ الآن فصاعداً، "كرة حيوية" أخرى خاصة جداً. إنها تلك المكونة من مجمل الكائنات الإنسانية الموزعة على كل القارات، والتي أطلق عليها تلهارد دو شاردان النوسفير Noosphère.

هذا النوسفير، المؤلف من ستة مليارات فرد، وغداً من ثمانية مليارات، يؤثر من الآن فصاعداً على الجملة ــ الأرض، إذ أن الإنسان صار عاملاً جيولوجياً. مشكلة غاز الكربون الناجم عن احتراق الفحم

والبترول معروفة، وكذلك انعكاساتها الممكنة عل المناخ، أو أيضاً مسألة طبقة الأوزون التي تتدمر فوق القطب الجنوبي، في أعقاب انبعاث المركبات الغنية بالكلور، ولكن توجد تأثيرات، أبسط بكثير وأعمق. من الآن فصاعداً ــ مثلاً ــ الإنسان أكثر من الأنهار والرمال نقلاً للحصى، لكن الأنهار تنقل هذه المواد نحو المحيط، في حين أن الإنسان ينقلها من المقالع، ومن الدلتات، نحو النطاقات المأهولة، في الأعالي المرتفعة. يلعب الإنسان، إذاً، بالمقابل دور الحت والتعرية.

بالعكس، ومن خلال استخدام السماد الكلسي أو البوتاسي أو النترات، فإن الإنسان يسرِّع انحلال التربة ــ وبالتالي تخريبها بمعامل من مرتبة ثلاث إلى أربع مرات، ويسرع التعرية بعامل من مرتبة مرتين، إلى ثلاث مرات. صار الإنسان هكذا عامل تعرية يهدد بتخريب واضطراب الدورة المائية الجيولوجية العادية: مخلفات مدنية، توزيع المياه، إزالة الأحراج والغابات... إلخ، كلها عوامل تحدد تاريخ مستقبل الأرض. هذه العوامل التي إذا ما اعتبر تأثيرها على مدى ملايين السنين، فإنها ستغير جذرياً الميكانيكية الأرضية، وهذا مؤكد. ما يشغلنا هو بوضوح معرفة: أهذه التأثيرات مُدركة على المستوى الإنساني، أم أنها ستكون عامل شؤم ونحس؟ وإذا كان الجواب بنعم، فكيف يمكن إصلاح ذلك وعلاجه وعلى أي مستوى؟.

هذا هو برنامج جميل لجيولوجيي علم الغد: الأنتروبوجيولوجيا Antropogéologie... كما يتبين لنا، تساؤلات كثيرة وفرضيات ما تزال قائمة ومواضيع كثيرة للبحث في علوم الأرض، الغد... ممتعة ومولعة...

الخاتمة

بعد حقبة الفيزياء الأساسية التي تسود في هذا المؤلَّف، تلا ذلك تطوير علوم الطبيعة.

علوم اليوم تبحث عن خرق أسرار الحياة، من جانب، وأسرار الأرض والكون من جانب آخر.

البيولوجيا، البيئة، علوم الأرض، علم الفلك ستكون هذه العلومُ علوم القرن الحادي والعشرين.

بحوزتنا أدوات تقنية وفكرية كثيرة، وفي المقام الأول منها تلك المبنية على الفيزياء والكيمياء، لفهم هذه الجمل المعقدة.

ولكننا مازلنا بعيدين عن فهم كل شيء... مغامرة العلم مستمرة. سيكون ذلك موضوع كتاب آخر... لكل العالَم... ربما.



ملحق

قائمة بأهم العلماء الواردة أسماؤهم في الكتاب وجنسياتهم واختصاصاتهم واكتشافاتهم

الاسم		الجنسية والفترة الزمنية	الاختصاص	الاكتشافات والملاحظات
أبوقير	Epicure	يوناني، 341 – 270 ق.م	فيلسوف	أسس مدرسة الحديقة
إديسون توماس	Edison Thomas	أمريكـــــي، 1847 –1931	مخترع	المصباح الكهربائي المفرغ
إراتوستين	Erathostène	يوناني، 276 – 174 ق.م	فلكي، رياضي، جغرافي	أول من قاس محيط الأرض، طريقة إراتوستين
أرخميدس	Archimède	يوناني، 287 – 212 ق.م	رياضي، فيزيائي	نظرية أرخميدس عن دفع السوائل للأجسام
أورستيد هانز	Oersted Hans	دانماركي، 1770 – 1851	فيزيائي	اكتشاف الكهرامغناطيسية
أرسطو	Aristote	يوناني، 384 – 322 ق.م	عالِم وفيلسوف	المنطق و مبادىء المعرفة كافة
أوريزم نيكولا	Oresme Nicolas	فرنسي، العصور الوسطى	جيولوجي	نظرية دائرية الأرض
أريستاك دوساموس	Aristarque de Samos	يوناني، 310 – 230 ق.م	فلكي	دائرية الأرض، اعتبر ملحداً
أستون ف. ويليام	Aston F. William	إنكليـــزي، 1877 – 1945	كيميائي	كتلة الذرات – أعداد صحيحة، نوبل 1922
أفوغادرو أميدين	Avogadro Amédée	إيطـــــالي، 1776 – 1856	كيميائي	عدد أفوغادرو، عدد الجزيئات في جزيئة غرامية
إقليدس	Euclide	يوناني، القرن الثالث ق.م	رياضي	نظرية الأعداد الهندسية

الاسم	Name	الجنسية والتاريخ	الصفة	الإسهام
إمبيدوكل	Empedocle	يونـــــــــاني، 490 – 435	مفكر، فيلسوف، شاعر	انتحر من على قمة بركان إتنا
أمبير أ. ماري	Ampère A. Marie	فرنســـــي، 1775 – 1836	فيزيائي، رياضي	النظرية الكهرامغناطيسية، نظرية أمبير، قياس شدة التيار
إنجيل فريدريك	Engeles Friedrich	فرنســـــي، 1775 – 1836	منظر اجتماعي	الأيديولوجية الألمانية الديالكتيكية، المادية التاريخية
إنشتاين ألبرت	Enistein Albert	ألمـــــاني*، 1879 – 1955	فيزيائي	النسبية والميكانيك الكوانتي، نوبل 1921
أوستوولد ويلهيلم	Ostwalld Wilhelm	ألمـــــاني، 1851 – 1932	كيميائي	التحريض والتوازن الكيميائي، نوبل 1909
أوم ج. سيمون	Ohm G. Simon	ألمـــــاني، 1789 – 1854	فيزيائي	قانون أوم
أونيس كاميرلنغ	Onnes Kammerling	هولنـــدي، 1853 – 1926	فيزيائي	إنتاج الهليوم السائل، خواص المادة في درجة حرارة منخفضة
إيدلمان جيرالد	Edelman Girald	أمريكي، ولد عـــام 1929	فيزيولوجي	كيميائية الأضداد، نوبل 1972
إيدنغتون أ. ستانلي	Eddington A. Stanley	إنكليـــزي، 1882 – 1944	فلكي، فيزيائي، فيلسوف	العلاقة كتلة – ضوء، النظرية النسبية العامة
باستور لويس	Pasteur Louis	فرنســـــي، 1822 – 1895	عالِم رياضي،	ميكروبيولوجيـــا، لقـــاح باســـتور ضـــد الكَلَـــب، التخمر والبسترة
باسكال بليز	Pascale Blaise	فرنســـــي، 1623 – 1662	فيزيائي، فيلسوف	هيـــدروســـتاتيك، هندســـة الإســـقاط، حســـاب الاحتمالات
باكون روجيه	Bacon Roger	إنكليـــزي، 1214 – 1292	فيلسوف	الطرق التجريبية
باكون فرانسيس	Bacon Francis	فرنســـــي، 1561 – 1626	فيلسوف	تصنيف العلوم، الطرق التجريبية العلمية

بتولمي كلود	Btolémée Claude	يونـــــــاني، 90 – 168	عالِم وفلكي	وصف رياضياً الكون واعتبر الأرض مركزه الثابت
باركلا شارل	Barkla Charles	إنكليــزي، 1877 – 1944	فيزيائي	الإشعاع وطيفه في العناصر، نوبل 1917
برادلي جيمس	Bradley James	إنكليــزي، 1693 – 1762	فلكي	قاس سرعة الضوء، انحراف ضوء النجوم
براغ و. لورانس	Brag W. Lawrence	إنكليــزي، 1890 – 1971	فيزيائي	الضوء البلوري، نوبل 1915
براغ و. هنري	Brag William Henri	إنكليــزي، 1862 – 1942	فيزيائي	الضوء البلوري، نوبل 1915
براه تيكو	Brahe tycho	دانماركي، 1546 – 1601	فلكي	وضع كاتالوكاً عن 777 نجماً، حركة زحل
برتولي ك.– لويس	Bertolet C.-Louis	فرنســـي، 1748 – 1822	كيميائي	قوانين برتولي عن الأملاح، الكلور المزيل للألوان
برتيلو مارسولين	Berthelot Marcellin	فرنســـي، 1827 – 1907	كيميائي، سياسي	تركيب المواد العضوية، تَقَلَّد عدة وزارات منها الخارجية
بوهر نيلز	Bohr Niels	دانماركي، 1883 – 1962	فيزيائي	الخصائص الموجية والجسيمية للضوء، الكوانتا، نوبل 1922
بروست مارسيل	Proust Marcel	فرنســـي، 1871 – 1922	كاتب	مؤلف البحث عن الوقت الضائع، 7 أجزاء
برنويية دانيال	Bernouilli Daniel	سويسري، 1700 – 1782	فيزيائي، رياضي	الهيدروديناميك، حركية الغازات
بروغلي لويس	Broglie Louis	فرنســـي، 1892 – 1987	فيزيائي	مبدأ الميكانيك الموجي، النظرية الكوانتية، نوبل 1929
برينو جيوردانو	Bruno Giordano	إيطـــالي، 1548 – 1600	عالِم، كاتب	دافع عن نظرية كوبرنيك فأحرق لاعتباره ملحداً
بلاتون	Platon	يوناني، 428 – 348 ق.م	فيلسوف	مؤلف الجمهورية، وله أفكار في الحوار
بلانك ماكس	Plank Max	ألمـــاني، 1858 – 1947	فيزيائي	نظرية الكوانتا، نوبل 1918

بولتزمان لودوينك	Boltzman Ludwing	نمساوي، 1844 – 1906	فيزيائي	نظرية حركية الغازات (مع ماكسويل)
بويل روبرت	Boyle Robert	إيرلندي، 1627 – 1691	فيزيائي، كيميائي	انضغاط الغازات، قانون بويل وماريوط
بواسون	Poisson	فرنسي، 1781 – 1840	رياضي	حساب الاحتمالات
بوانكاري ريموند	Poincari Raymond	فرنسي، 1860 – 1934	رجل دولة	رئيس الجمهورية، 1913- 1920، ووظائف عديدة أخرى
بوانكاري هنري	Poincari Henri	فرنسي، 1854 – 1942	رياضي	ميكانيك الفضاء، التوبولوجيا الجبرية
بورن ماكس	Born Max	إنكليزي*، 1882 – 1970	فيزيائي	ميكانيك الكم، نوبل 1954
بوريل إميل	Borel Emile	فرنسي، 1871 – 1956	رياضي ورجل سياسي	الحساب اللامتناهي في الصغر، نظرية الاحتمالات
بولي وولفغونغ	Pauli Wolfgang	سويسري*، 1900 – 1958	فيزيائي	مبدأ بولي، الكوانت، نوبل 1945
بولنغ لينوس	Pauling Linus	أمريكي، 1901 – 1994	كيميائي	ميكانيك كوانتي، نوبل كيمياء 1954، نوبل السلام 1962
بونسن ر. ويلهيلم	Bunsen R. Wilhelm	ألماني، 1811 – 1899	فيزيائي	مخترع قنديل الغاز
بيرغسون هنري	Bergson Henri	فرنسي، 1859 – 1941	فيلسوف	مؤلفات عديدة عن الحدس والإدراك، نوبل 1927
بيفون ج. ل. لوكلير	Buffon G. L. Leclerc	فرنسي، 1707 – 1788	كاتب وعالِم طبيعة	انتقد تصنيف ليني ويبل بالتحول، يعتقد
بيكيريل	Becquerel	فرنسي، 1852 – 1908	فيزيائي	اكتشاف الإشعاع الطبيعي والذاتي، نوبل 1903
بيرين جون	Perrin Jean	فرنسي، 1870 – 1942	فيزيائي	حساب عدد أفوكادرو، شارك في تأسيس CNRS، نوبل 1926

الاسم	Name	الجنسية والتاريخ	الصفة	الإسهام
تالس دوميلي	Thalès de Milet	يوناني، 625 – 456 ق.م	مفكر، فلكي، رياضي	أوائل فلاسفة اليونان، الهندسة
تومسون جورج	Thomson George	إنكليزي، 1892 – 1975	فيزيائي	التداخل في البلورات، نوبل 1937
جوريس جون	Jaurès Jean	فرنسي، 1859 – 1914	رجل سياسي	مؤسس جريدة الإنسانية وقائد SFIO
تومسون جوزيف	Thomson Joseph	إنكليزي، 1856 – 1940	فيزيائي	الناقلية الكهربائية في الغازات، نوبل 1906
جاكوب فرانسوا	Jacob François	فرنسي، ولد عام 1920	فيزيولوجي	الخلايا الجسمية، نوبل 1965
جبس جوزيا ويلارد	Gibbs Josiah Willard	أمريكي، 1839 – 1903	فيزيائي	الفيزياء الكيميائية، الميكانيك السكوني
جلبرت ويليام	Gilbert William	إنكليزي، 1540 – 1603	طبيب وفيزيائي	المغناطيسية الأرضية، الكهربائية، أول طبيب للملكة إليزابيت
جيسيو أنطوان	Jussieu Antoin	فرنسي، 1748 – 1836	عالِم نبات	التصنيف النباتي (عائلة كبيرة ومنها جوزيف)
جوليو ك. فريدريك	Joliot C. Frédéric	فرنسي، 1900 – 1958	فيزيائي، كيميائي	الإشعاعية الاصطناعية، نوبل 1935
جوليو كوري إيرين	Joliot Curie Iréne	فرنسية، 1897 – 1956	فيزيائية، كيميائية	الإشعاعية الاصطناعية، نوبل 1935
جوفروا س. هيلير	Geoffroy St.-Hilaire	فرنسي، 1772 – 1844	عالِم طبيعي	التشريح المقارن، الوسط وتغير الأنواع
جوهانسن وليام	Johannsen William	دانماركي، 1857 – 1927	نباتي وعالِم وراثة	المفاهيم الأساسية للوراثة
جينس بييرجيل	Gennes Pierre-Gilles	فرنسي، ولد عام 1932	فيزيائي	فيزياء المادة، نوبل 1991
داروين	Darwin	فرنسي، 1809 – 1882	عالِم طبيعي	مؤسس نظرية التطور الطبيعي–نظرية داروين

دافي همفري	Davy Humphry	إنكليـــزي، 1778 – 1823	كيميائي	عزل المواد القلوية بالتحريض، الكلور، اكتشاف القوس الكهربائي
دافيسون كلينتون	Davidsson Clenton	أمريكـــي، 1881 – 1958	فيزيائي	التداخل في البلورات، نوبل 1937
دالتون جون	Dalton John	إنكليـــزي، 1766 – 1844	كيميائي	الألوان الدالتونية، نظرية الذرة، النسب المضاعفة
دوبي جورج	Duby George	فرنســـي، 1919 – 1996	مؤرخ	العصور الوسطى، القيم الأيديولوجية والفنية
دوغاما فاسكو	De Gama Vasco	برتغـــالي، 1469 – 1524	ملاح	كروية الأرض
دوفرييس هيغو دو	De Vries Hugo de	هولنـــدي، 1848 – 1935	عالِم نبات	الطفرات الوراثية
ديبوس رينيه	Dubos René	أمريكي*، 1901 – 1982	بكترولوجي ومجرب	تأثير الوسط على الحياة، العقاقير ضد البكترية
ديدرو دونيس	Dideret Denis	فرنســـي، 1713 – 1784	كاتب، فيلسوف	تحول من الغيبية إلى المادية
ديراك بول	Dirac Paul	إنكليـــزي، 1902 – 1984	فيزيائي	ميكانيك كوانتي، معادلة ديراك، نوبل 1933
ديكارت رينيه	Descartes René	فرنســـي، 1596 – 1650	فيلسوف وعالِم	الشك والحق، الهندسة التحليلية، انكسار الضوء
ديموقراط	Démocrite	فيزيائي، 460 – 370 ق.م	مفكر	الفيزياء المادية – الذرة
رايزرفورد إرنست	Rutherford Ernst	إنكليـــزي، 1871 – 1937	فيزيائي	الفيزياء النووية، اكتشف نواة الذرة، نوبل 1908
رينان إرنست	Renan Ernest	فرنســـي، 1823 – 1892	كاتب	تاريخ الفكر
راسل هـــ. نوريس	Russell Henri Norris	أمريكـــي، 1877 – 1957	فلكي، فيزيائي	تصنيف النجوم حسب شدة ضوئها ودرجة حراراتها
رامان فينكاتا	Raman Venkata	هولنـــدي، 1888 – 1970	فيزيائي	أثر رامان، نوبل 1930

رايلي لورد	Rayleigh Lord	إنكليزي، 1842 – 1919	فيزيائي	اكتشاف الأرغون وقياس كثافة الغازات، نوبل 1904
رومر أول	Rômer Ole	دانماركي، 1642 – 1710	فلكي	تقدير سرعة الضوء، اختراع المنظار الزوالي
رونتجن و. كونراد	Röntgen W. Conrad	ألماني، 1845 – 1923	فيزيائي	الأشعة السينية، نوبل 1901
ريكاردسون أوين	Richardson Owen	إنكليزي، 1879 – 1959	فيزيائي	قانون ريكاردسون، نوبل 1928
ريكاردسون ساموبل	Richardson Samuel	إنكليزي، 1689 – 1761	كاتب	البورجوازية
زيمان بييتر	Zeiman Peter	هولندي، 1865 – 1943	فيزيائي	أثر زيمان، المغناطيسية والإشعاع، نوبل 1902
ستارك يوهانس	Strak Johans	ألماني، 1874 – 1957	فيزيائي	أثر ستارك في الأشعة المهبطية، نوبل 1919
ستوك ج. غابربيل	Stokes G. Gabriel	إيرلندي، 1819 – 1903	فيزيائي، رياضي	قانون المرونة، التألق
سقراط	Socrate	يوناني، 470 – 399	فيلسوف	أبو الديالكتيكية
سودي فريدريك	Soddy Fréderick	إنكليزي، 1877 – 1956	كيميائي	الإشعاعية، النظائرية، نوبل 1921
سيريس ميشيل	Serres Michel	فرنسي، ولد عام 1930	فيلسوف وكاتب	تاريخ العلوم والأفكار، ونصوص عامة
شادويك جيمس	Chadwic James	إنكليزي، 1891 – 1974	فيزيائي	اكتشاف النترون، نوبل 1935
شترن أوتو	Stern Otto	أمريكي*، 1888 – 1965	فيزيائي	العزم المغناطيسي للبروتون، نوبل 1943
شرودنجر إيروين	Shrödenger Erwin	نمساوي، 1887 – 1961	فيزيائي	تطبيق ميكانيك الكم على الذرة، نوبل 1923
غاليلي	Galillée	إيطالي، 1564 – 1642	رياضي، فيزيائي، فلكي	قوانين النواس، سقوط الأجسام، المنظار الفلكي، دوران الأرض

الاسم	Name	الجنسية والتاريخ	المهنة	الإسهام
غاسوندي بيير	Gassendi Pierre	فرنسي، 1592 – 1655	فيلسوف، عالِم	مادي، معارض لديكارت
غوس ك. فريدريك	Gauss Carl Friedrich	ألماني، 1777 – 1855	رياضي، فيزيائي، فلكي	الضوء، المغناطيسية والكهرامغناطيسية
غودار روبرت	Goddar Robert	أمريكي، 1882 – 1945	مهندس، فيزيائي	صواريخ ومركبات فضائية
غي ل. ج. لويس	Gay L. Joseph-Louis	فرنسي، 1778 – 1850	فيزيائي، كيميائي	تمدد الغازات، اكتشاف البور، عزل السيليسيوم
فاراداي ميشيل	Faraday Michel	إنكليزي، 1791 – 1867	فيزيائي، كيميائي	قانون فاراداي، التحريض الكهرامغناطيسي
فان در و. جوهانس	Van Der W. Johannes	هولندي، 1837 – 1923	فيزيائي	معادلة حالات الغازات والسوائل، نوبل 1910
فرانكلين بنجامين	Franklin Benjamin	أمريكي، 1706 – 1790	عالِم، رجل سياسي	ساهم في إنشاء أمريكا– دراسة الكهرباء
فرانك جيمس	Frank James	ألماني، 1882 – 1864	فيزيائي	قوانين صدم الإلكترون بذرة، نوبل 1925
فرما بيير	Fermat Pierre	فرنسي، 1601 – 1665	رياضي	نظرية الإعداد، الاحتمالات، الضوء – مبدأ فرما
فريدمان جورج	Friedman George	فرنسي، 1902 – 1977	عالِم اجتماع	لغة الآلة الصناعية
فرينل أوغيستين	Fresnel Augustin	فرنسي، 1788 – 1827	فيزيائي	نظرية الضوء التموجية، الفيزياء الحديثة
فورييه جوزيف	Fourier Joseph	فرنسي، 1768 – 1830	رياضي	سلاسل فورييه، نظرية الحرارة
فوكو ليون	Foucault Léon	فرنسي، 1819 – 1868	فيزيائي	سرعة الضوء، دوران الأرض، النواس
فونتونيل برنارد	Fontenelle Bernard	فرنسي، 1657 – 1757	كاتب	تقدم العلوم، الظواهر السماوية
فون لو ماكس	Von lau Max	ألماني، 1879 – 1960	فيزيائي	انعراج الأشعة السينية في البلورات، نوبل 1914

الاسم	Name	الجنسية والتاريخ	الصفة	الإسهام
فيثاغورث	Pythagore	يوناني، القرن السادس ق.م	مفكر ، رياضي	المدرسة الفيثاغورثية، نظرية فيثاغورث المثلثاتية
فيزو هيبوليت	Fizeau Hippolyte	فرنسي، 1819 – 1896	فيزيائي	أثر دوبلر في الضوء، قياس سرعة الضوء
فيغنر ألفريد لوثر	Wegne Alfred Lothar	ألماني، 1880 – 1930	جيوفيزيائي، فلكي	انزياح القارات
فيرشو رودولف	Virchow Rudolf	ألماني، 1821 – 1902	بيولوجي، سياسي	مبتكر البيولوجيا الخليوية، قائد الحزب التقدمي المعارض لبسمارك
فيزمان أوغيست	Weizmann August	ألماني، 1834 – 1914	بيولوجي	مؤسس الداروينية الجديدة
فينمان ريتشارد	Feynman Richard	أمريكي، 1918 – 1988	فيزيائي	الكهراديناميكية الكوانتية، نوبل 1965
كاستلر ألفريد	Kastler Alfred	فرنسي، 1902 – 1984	فيزيائي	الضوء، اللازر، نوبل 1968
كاسيني ج. دومينيك	Cassini J. Dominique	فرنسي، 1605 – 1712	فلكي، عالِم خرائط	مركز المراقبة الجوية و الفلكية بباريس
كالفن جون	Calvin Jean	فرنسي، 1509 – 1564	مصلح ديني	مؤسس الكنيسة البروتستانتية
كانت إيمانويل	Kant Emmanuel	ألماني، 1724 – 1804	فيلسوف	نقد السبب
كبلر جوهانس	Kepler Johannes	ألماني، 1571 – 1630	فلكي	قوانين كبلر، حركية الكواكب حول الشمس
كروكس ويليام	Crookes William	إنكليزي، 1832 – 1919	كيميائي، فيزيائي	مخترع الأنابيب المهبطية الباردة، وتطبيقاتها
كريك فرانسيس	Crick Francis	إنكليزي، ولد عام 1916	فيزيولوجي	البنية الجزيئية لـ AND، نوبل 1962
كلفن لورد	Kelvin Lord	إنكليزي، 1824 – 1907	فيزيائي	الترموديناميك، درجة الحرارة المطلقة، كروية الأرض
كلود برنارد	Claude Bernard	فرنسي، 1813 – 1878	فيزيولوجي	الطب التجريبي

كلوزيوس رودولف	Clausius Rudolf	ألمـــاني، 1822 – 1888	فيزيائي	الترموديناميك، حركية الغازات
كوبرنيك نيكولا	Copernic Nicolas	بولـــوني، 1473 – 1543	فلكي	حركة الكواكب حول نفسها وحول الشمس
كوستلر آرثر	Koestler Arthur	إنكليــزي، 1905 – 1983	كاتب	تبدل من الشيوعية إلى الجمهورية
كوري بيير	Curie Pierre	فرنســـي، 1859 – 1906	فيزيائي	اكتشاف الإشعاع الطبيعي الذاتي، نوبل 1903
كوري ماري	Curie Marie	فرنسية * ، 1867 – 1934	فيزيائية، كيميائية	اكتشاف الإشعاع الطبيعي الذاتي، نوبل 1903، الراديوم، البولونيوم، نوبل 1911
كوفيية جورج	Cuvier George	فرنســـي، 1769 – 1832	عالِم حيوان ومستحاثات	التشريح المقارَن
كوريوليس غ. غاسبارد	Coriolis G. Gaspard	فرنســـي، 1792 – 1843	رياضي	قوة كوريوليس، انحراف المسارات
كوك جيمس	Cook James	إنكليــزي، 1728 – 1779	ملاح	اكتشف جزر كوك، نيوزيلندة الجديدة
كوكروفت جون	Cockcroft Jean	إنكليــزي، 1897 – 1967	فيزيائي	تحول النواة الذرية، نوبل 1951
كولومب كريستوف	Colomb Christophe	إيطـــالي، 1451 – 1506	ملاح	اكتشاف أمريكا
كيرشوف غوستاف	Kirchoff Gustave	ألمـــاني، 1824 – 1887	فيزيائي	الإشعاع الحراري، التحليل ا لطيفي
لابلاس بيير سيمون	Laplace Pierre	فرنســـي، 1749 – 1827	رياضي، فلكي	نظرية لابلاس، حساب الاحتمالات، الميكانيك الكوني
لافوازيية أنطوان	Lavoisier Antoine	فرنســـي، 1743 – 1794	عالِم	الكيمياء الحديثة، احتراق الأوكسجين وتركيب الماء
لامارك ج. باتيست	Lamarck J. Baptiste	فرنســـي، 1744 – 1829	عالِم طبيعي	نظرية التطور الطبيعي وأثر الوسط
ليبمان غابرييل	Lipmann Gabriel	فرنســـي، 1845 – 1921	فيزيائي	التصوير الضوئي بالألوان، نوبل 1908

لهن جون ماري	Lehn Jean-Marie	فرنسي، ولد عام 1939	كيميائي	الروابط الإيونية والجزيئية، نوبل 1987
لوثر مارتين	Luther Martin	ألماني، 1483 – 1546	مصلح	أحد مؤسسي البروتستانتية
لورانس إرنست	Lawrence Ernste	أمريكي، 1901 – 1958	فيزيائي	المسار المداري للإلكترونات، نوبل 1939
لورنتز هندريك	Lorentz Hendrik	هولندي، 1853 – 1928	فيزيائي	أثر المغناطيسية في الإشعاع، نوبل 1902
لوك جون	Locke John	إنكليزي، 1632 – 1704	فيلسوف	مبادىء الحرية، التفاهم الإنساني
لونارد فيليب	Lenard Philippe	ألماني، 1862 – 1947	فيزيائي	الأشعة المهبطية
ليبنز غ. ويلهيلم	Leibniz G. Wilhelm	ألماني، 1646 – 1716	فيلسوف، عالِم	العقلانية والتفاؤلية، الحساب اللامتناهي في الصغر
ليل شارل	Lylle Charles	إنكليزي، 1797 – 1875	جيولوجي	أحد مؤسسي العلوم الجيولوجية، تطور الأرض
ليني كارل فون	Linné Carl Von	سويدي، 1707 – 1778	عالِم طبيعي وكاتب	تصنيف الأنواع والأجناس
ماجلان فرناند	Magellan Frnand	برتغالي، 1480 – 1521	ملاح	اكتشاف العالم
ماخ إرنست	Mach Ernest	نمساوي، 1838 – 1916	فيلسوف، فيزيائي	عدد ماخ، سرعة الصوت
ماركس كارل	Marx Karl	ألماني، 1818 – 1883	فيلسوف، اقتصادي، سياسي	مفهوم المجتمع على أساس النضال الطبقي، فلسفة الحزب الشيوعي
ماركوني غوغليلمو	Marconi Guglielmo	إيطالي، 1874 – 1937	فيزيائي	اكتشاف اللاسلكي، نوبل 1909
ماري إيتيان يوليوس	Marey Etienne Jules	فرنسي، 1830 – 1904	فيزيولوجي	الفوتوغرافيا، بدايات السينما
ماكسويل ج. كليرك	Maxwell James	إنكليزي، 1831 – 1879	فيزيائي	الحقل الكهرامغناطيسي، معادلة ماكسويل

مالتوس ت. روبرت	Malthus T. Robert	إنكليزي، 1766 – 1834	راهب، اقتصادي	أثر السكان المتزايد في الفقر، تحديد النسل
ماندلييف ديمتري	Mandeleïve Dimitri	روسي، 1834 – 1907	كيميائي	تصنيف العناصر الكيميائية، جدول مندلييف
ماير يوليوس	Mayer Julius	ألماني، 1814 – 1874	طبيب، فيزيائي	الترموديناميك
مورغان ت. هونت	Morgan Thomas Hunt	أمريكي، 1866 – 1945	عالِم وراثة	الطفرات عند الذباب، نوبل 1933
مونديل غريغور	Mendel Gregor	فرنسي، 1822 – 1884	عالِم نبات	قوانين مونديل في الوراثة
مونوجاك	Monod Jacques	فرنسي، 1910 – 1976	بيوكيميائي	اكتشاف الـ ARN، نوبل 1965
ميكلسون ألبرت	Mechelson Albert	أمريكي*، 1852 – 1931	فيزيائي	دراسات طيفية ودقة الأجهزة الضوئية، نوبل 1907
ميلانكتون فيليب	Melonchton Philippe	ألماني، 1497 – 1560	مصلح ديني	خلف لوثر على رأس الكنيسة اللوتيريانية
ميليكين روبرت	Millikan Robert	أمريكي، 1868 – 1953	فيزيائي	الأثر الكهرا–ضوئي، نوبل 1923
نرنست والتر	Nernest Walter	ألماني، 1864 – 1941	كيميائي	الكيمياء الحرارية، نوبل 1920
نيوتن إسحق	Newton Isaac	إنكليزي، 1642 – 1727	رياضي، فيزيائي، فلكي	قانون التجاذب، الحساب اللامتناهي في الصغر
هالي إدمون	Halley Edmond	إنكليزي، 1656 – 1742	فلكي	مذنب هالي، ودورته الزمنية (76 سنة)
هاوي رينيه	Haüy René	فرنسي، 1743 – 1822	منرالوجي	بنية البلورات
هرتز غوستاف	Hertz Gustave	ألماني، 1887 – 1975	فيزيائي	تصادم الإلكترونات والذرات، نوبل 1925
هرتز هنريش	Hertz Heinrich	ألماني، 1857 – 1894	فيزيائي	أمواج مغناطيسية (هرتزيائية) وأمواج ضوئية

هرزبرغ جيرهارد	Herzberg Girard	كندي*، ولد عام 1904	كيميائي	بنية الجزيئات، نوبل 1951
هوك روبرت	Hooke Robert	إنكليزي، 1635 – 1753	فيزيائي، فلكي، عالِم طبيعي	التشوه المرن للأجسام الصلبة
هويغن كريستيان	Huygens Christiaan	هولندي، 1626 – 1695	فيزيائي، كيميائي، رياضي	نظرية الضوء التموجية، الديناميك، مدار ساترن
هيبل إيدوين بويل	Hubble Edwin Powell	أمريكي، 1889 – 1953	فلكي	المجرات، نظرية اتساع الكون
هيس فيكتور	Hess Victor	نمساوي، 1883 – 1964	فيزيائي	الإشعاع الكوني، نوبل 1937
هيتون جيمس	Hutton James	إنكليزي، 1726 – 1797	جيولوجي	التطور خلال الزمن
هييزنبرغ ويرنر	Heisenberg Werner	ألماني، 1901 – 1976	فيزيائي	الميكانيك الكوانتي، مبدأ اللايقينية،نوبل 1932
هيغل فريدريك	Hégel Friedrich	ألماني، 1770 – 1831	فيلسوف	التاريخ والمعرفة والعقل
هيغو فيكتور	Hugo Victor	فرنسي، 1802 – 1885	كاتب	تنقل من التحرر إلى الجمهورية ثم إلى الديمقراطية
هيلمولتز هـ. فون	Helmholtz H. Von	ألماني، 1823 – 1894	فيزيائي، فيزيولوجي	مساهمات في الطاقة والأعصاب
هيوكسلي توماس	Huxley Thomas	إنكليزي، 1825 – 1895	عالِم طبيعي	من مؤيدي داروين
هيوكسلي أندرو	Hoxley Androw	إنكليزي، ولد عام 1917	عالِم طبيعي	دراسات عصبية، نوبل 1963
واطسون جيمس	Watson James	أمريكي، ولد عام 1928	بيولوجي	البنية الجزيئية لـ ADN، نوبل 1962
والتون إرنست	Walton Ernst	إيرلندي، ولد عام 1903	فيزيائي	تحول النواة الذرية، نوبل 1952

ورنر ألفريد	Werner Alfrèd	سويسري، 1866 – 1919	كيميائي	الرابطة الكيميائية
ويزمان أوغيست	Weisman August	ألمـــــاني، 1834 – 1914	بيولوجي	الداروينية الجديدة
ولراس ليون	Walras Léon	فرنســـي، 1834 – 1910	اقتصادي	مؤسس علم الاقتصاد الرياضي
ويلسون روبرت	Wilson Robert	أمريكي، ولد عـــام 1926	فيزيائي	النيازك، اكتشاف تشكل الكون، نوبل 1978
ويلكنـــز موريس	Wilkins Maurice	إنكليزي، ولد عـــام 1916	بيولوجي	بنية الـــADN، نوبل 1962
وين ويلهيلم	Wein Wilhelm	ألمـــــاني، 1864 – 1928	فيزيائي	الإشعاع الحراري

* متجنس.

الفهــرس



قليل من العلم للجميع

يعتبر هذا الكتاب ملحمة بل ومكتبة متكاملة لكل من تشده المغامرة العلمية. إنه كتاب تثقيفي عامّ لإنسان القرن الحادي والعشرين، يعبر بنا تاريخ الإنجازات العلمية الكبيرة. كُتبَ بلغة مبسطة اعتمدت الأسلوب التاريخي الإنساني الحي لهذه المغامرات التي قادت إلى هذه الاكتشافات العلمية العظيمة، بعيداً عن استدعاء لغة الرياضيات، دون التضحية بالدقة والروح العلمية، إنه كتاب الأجيال. الطموح الأكبر الذي ينشده هو جعل الجميع يحبون العلوم بما في ذلك أولئك الذين لا يمارسونها، ولكن أيضاً التمتع ــ مع أولئك الذين يمارسونها ــ باللذة الفكرية من جراء هذه الممارسة، ويالعظيم سعادتنا لو تحقق ذلك حتى جزئياً.

المؤلف هو كلود أليغر، أستاذ في جامعة دونيس ديدرو (السابعة) في باريس. حصل على جائزة كرافوورد عام 1986، والميدالية الذهبية لمركز البحوث الوطني الفرنسي عام 1994، وهو عضو أكاديمية العلوم الفرنسية، والأكاديمية الوطنية الأمريكية، والجمعية الملكية البريطانية، ووزير التربية الفرنسي الأسبق.

أما المترجم فهو أحمد بلال، أستاذ في جامعة دمشق، دكتور دولة في الجيولوجيا من الجامعة نفسها في باريس ــ فرنسا. عمل إضافة إلى التدريس والبحث العلمي مستشاراً للبحث العلمي لرئيس جامعة دمشق، خبيراً في المركز العربي ــ الأكساد التابع للجامعة العربية، خبيراً في اليونسكو للجيولوجيا، ويعمل خبيراً أكاديمياً لتقييم المشاريع Tempus في الاتحاد الأوروبي. له العديد من المؤلفات والتراجم والمساهمات العلمية والفكرية في مجلات ويوميات وطنية وعالمية.





Fayard
France - Paris